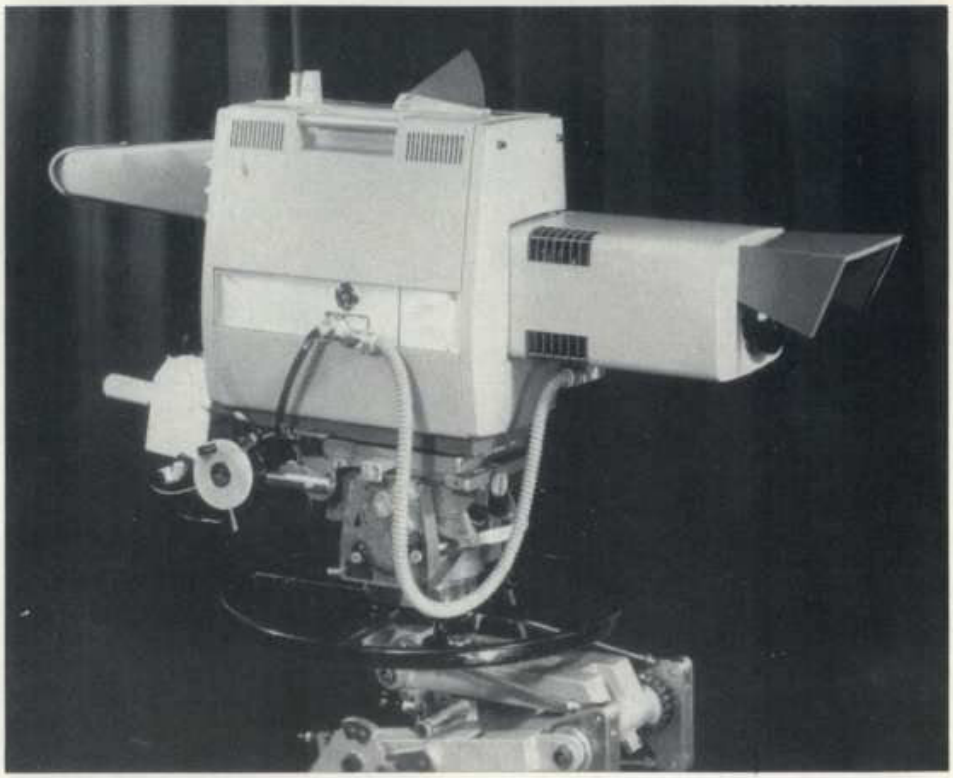
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

PHILIPS TECHNISCH TIJDSCHRIFT

JAARGANG 27, 1965/66, no. 4



Het nieuwe type opneembuis dat in Philips' Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven is ontwikkeld en dat de naam „Plumbicon" gekregen heeft, is door de televisiewereld met grote belangstelling ontvangen. De buis heeft alle voordelen van de bekende vidicons, maar is vrij van de principiële nadelen daarvan, zodat hij ook geschikt is voor toepassing op terrein dat tot dusver aan de beeldorthicons was voorbehouden. Dit maakt het gewenst de verschillende buistypes wat betreft beeldkwaliteit en overige eigenschappen zo objectief mogelijk met elkaar te vergelijken — een opgave die door de verschillen ten aanzien van ruiskarakter, werkpuntsinstelling, kans op „overbelichting", enz. de nodige omzichtigheid vereist. Voor zwart-wittelevisie komt het „Plumbicon" met een heel behoorlijk rapport uit de bus, en het vergelijkend examen in kleurentelevisie wordt door het „Plumbicon" glansrijk gewonnen.

Het „Plumbicon", vergeleken met andere televisie-opneembuizen

A. G. van Doorn

621.397.331.222

Het hart van iedere televisiecamera is de opneembuis. Daarin wordt een optisch beeld omgezet in een potentiaalbeeld, dat door aftasting met een elektronenbundel wordt omgezet in een elektrisch signaal. De meest gebruikte opneembuizen zijn op het ogenblik beeldorthicons en Sb_2S_3-vidicons. Deze twee types zijn gebaseerd op verschillende principes: in het beeldorthicon wordt gebruik gemaakt van foto-emissie en secundaire emissie om een potentiaalbeeld te vormen, in het vidicon geschiedt de omzetting op basis van fotogeleiding. Ook in eigenschappen zijn de twee types buizen sterk verschillend.

Ir. A. G. van Doorn is medewerker van Philips' Hoofdindustriegroep ELA, Ontwerpgroep Televisie, Eindhoven.

Zoals *fig. 1* laat zien, is het vidicon veel kleiner dan het beeldorthicon. Ook de eenvoudige instelling, de stabiliteit en de prijs zijn factoren die ten gunste van het vidicon spreken.

Dat men niettemin toch veelvuldig beeldorthicons toepast, komt doordat aan Sb_2S_3-vidicons enkele bezwaren kleven, die de kwaliteit van het beeld ernstig kunnen benadelen. Onder normale verlichtingscondities is hun responsiesnelheid zo gering dat bij bewegende objecten onscherpe beelden ontstaan, en verder bezitten zij een vrij grote donkerstroom, waardoor een signaal ontstaat ook wanneer geen licht op de buis valt. Onder bepaalde omstandigheden en met name bij verlichtingsniveaus die in de televisiestudio gebruikelijk zijn, kunnen deze stooreffecten zo ernstig zijn dat geen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

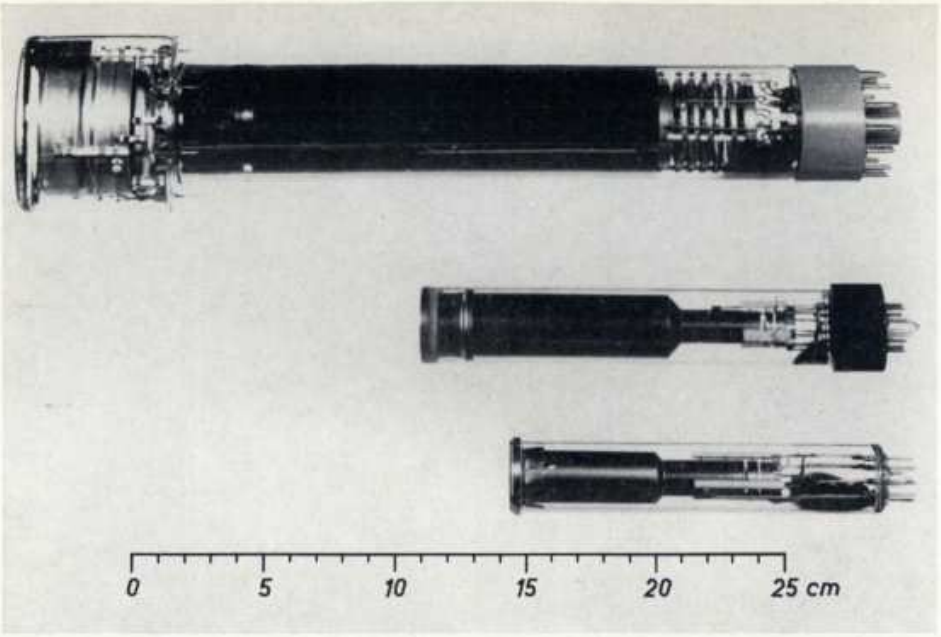


Fig. 1. Drie types opneembuizen. Van boven naar beneden: een 3″-beeldorthicon, een „Plumbicon" en een 1″-vidicon. Veelvuldig wordt nu in studiocamera's toegepast het 4½″-beeldorthicon, dat nog aanmerkelijk groter is dan het afgebeelde 3″-type. Van het vidicon bestaat ook een ½″-uitvoering, die speciaal ontwikkeld is voor zeer kleine en compacte camera's.

acceptabele beeldkwaliteit kan worden verkregen.

Voor vele toepassingen buiten de televisiestudio zijn de Sb_2S_3-vidicons echter uitstekend bruikbaar. Bij hoge lichtniveaus zijn de bovengenoemde effecten veel minder hinderlijk, en de voordelen van geringe afmetingen en gewicht, eenvoudige (eventueel geautomatiseerde) bediening en instelling, robuuste constructie, lage prijs en lange levensduur wegen hier zwaar.

Met de ontwikkeling van het „Plumbicon" is een nieuw type opneembuis ter beschikking gekomen. Deze buis berust evenals het Sb_2S_3-vidicon op het principe van fotogeleiding en is ook vrijwel geheel als dit vidicon gebouwd (fig. 1). Door een andere fotogeleidende laag en een daarbij aangepaste wijze van gebruik zijn de genoemde onaangename eigenschappen van het Sb_2S_3-vidicon, met name de hinderlijke traagheidseffecten en de storende donkerstroom, radicaal verdwenen, terwijl de aangename eigenschappen zijn behouden. Het „Plumbicon" is daardoor bruikbaar op een toepassingsgebied dat tot nu toe aan beeldorthicons was voorbehouden. De beeldkwaliteit van het „Plumbicon" kan stellig concurreren met die van beeldorthicons en in de toekomst kan derhalve ook in de studio geprofiteerd worden van de praktische voordelen die vidiconachtige buizen reeds lang op andere toepassingsgebieden ingang hebben doen vinden.

Hoewel dus het „Plumbicon" in zwart-wittelevisietoepassingen reeds zeer aantrekkelijk is, komen zoals zal blijken de bijzondere eigenschappen nog meer tot hun recht bij de kleurentelevisie. De behoefte aan een opneembuis voor dit doel, beter geschikt dan beeldorthicons en vidicons, is dan ook een krachtige stimulans geweest voor de ontwikkeling van het „Plumbicon".

Diverse eigenschappen van het „Plumbicon" en de fysische verklaring hiervan zijn behandeld in een eerder in dit tijdschrift verschenen artikel [1]. Thans willen we ingaan op de toepassing van deze nieuwe buis en een vergelijking trachten te maken met de reeds in gebruik zijnde beeldorthicons en vidicons. Wij zullen ons van een gedetailleerde beschrijving van de werking van deze opneembuizen onthouden, aangezien in de literatuur hierover uitvoerige informatie beschikbaar is [2][3]. Alleen de factoren die van belang zijn voor een onderlinge vergelijking zullen ter sprake komen.

Bij twee buistypes die zo sterk in werking en eigenschappen verschillen als „Plumbicon" en beeldorthicon, is een objectieve vergelijking een gecompliceerde zaak. Het is reeds vrijwel ondoenlijk om alle aspecten die de kwaliteit van een televisiebeeld bepalen, zoals scherpte, gradatie, helderheidsomvang, signaal-ruisverhouding, vlakheid enz., tegelijk in rekening te brengen en tegen elkaar af te wegen, ook al doordat persoonlijke smaak en gewenning bij de uiteindelijke beeldbeoordeling mede een rol spelen. Eigenschappen die niet zozeer de beeldkwaliteit betreffen maar belangrijk zijn voor het praktische gebruik, zoals opwarmtijd, stabiliteit, levensduur, gevoeligheid voor storingen enz., zijn al evenmin onder één noemer te brengen. Wij zullen ons derhalve beperken tot die punten waar een objectieve vergelijking nog het best mogelijk is, zoals o.m. de *vereiste verlichtingssterkten voor beelden van optimale kwaliteit*. Het is daarbij nodig de omstandigheden waaronder we vergelijken en de voorwaarden die we vervuld achten nauwkeurig te omschrijven. We zullen daarom eerst enkele begrippen nader bespreken, met name de scherptediepte, de signaal-lichtkarakteristiek en de signaal-ruisverhouding.

Scherptediepte

Een rechtvaardige vergelijking van verschillende opneembuizen moet betrekking hebben op omstandigheden waarin de buizen precies dezelfde scène opnemen, ook wat voor- en achtergrond betreft, en waar-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in zij dit bovendien doen met een zelfde scherptediepte. Men kan gemakkelijk inzien dat de buizen slechts dan een zelfde scène zullen opnemen als zij voorzien zijn van objectieven waarvan de brandpuntsafstanden zich verhouden als de lineaire afmetingen der zg. beeldrechthoeken (*fig. 2*). De beeldrechthoek van het beeldorthicon is 24×32 mm, terwijl die van het „Plumbicon" 12×16 mm en die van het gebruikelijke Sb_2S_3-vidicon ongeveer 9×12 mm is.

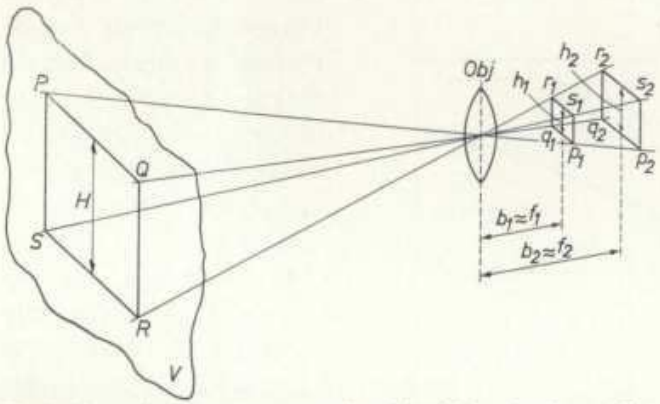


Fig. 2. Een televisiecamera, met zijn objectief op de plaats *Obj*, neemt een scène op waarbij de rechthoek *PQRS* uit het voorwerpsvlak *V* scherp wordt afgebeeld op de beeldrechthoek $p_1q_1r_1s_1$ van de opneembuis. Moet een tweede televisiecamera, die een opneembuis met de grotere beeldrechthoek $p_2q_2r_2s_2$ bevat, precies dezelfde scène (dus ook wat betreft voor- en achtergrond) opnemen, dan moet het objectief daarvan de positie van *Obj* krijgen en het moet de rechthoek *PQRS* scherp afbeelden op de grotere beeldrechthoek. Uit de figuur blijkt dat dit het geval is als de beeldsafstanden b_2 en b_1, en dus wegens de sterke verkleining ook de brandpuntsafstanden f_2 en f_1, zich verhouden als de hoogten van de beeldrechthoeken: $f_2/f_1 \approx b_2/b_1 = h_2/h_1$.

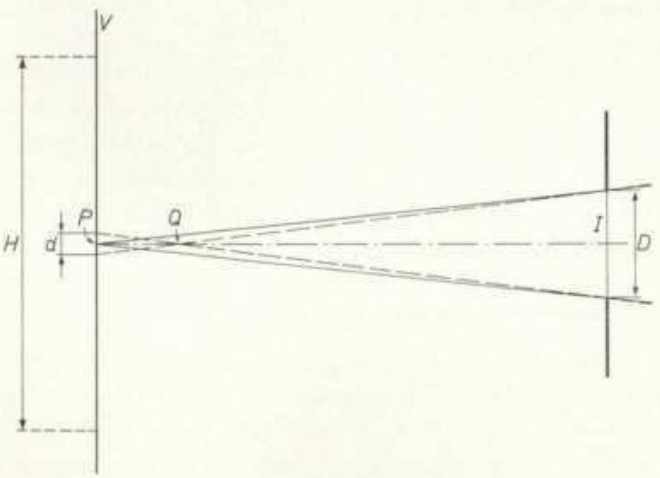


Fig. 3. De opening *I*, met diameter *D*, stelt de intreepupil voor van het objectief van een televisiecamera. Punt *P* van de scène in het voorwerpsvlak *V* wordt scherp afgebeeld op de (niet getekende) fotogevoelige laag van de opneembuis. Punt *Q* geeft op deze laag een vlekje (de diameter hiervan zij *d'*) dat samenvalt met het beeld van een schijfje met diameter *d* om punt *P*, want iedere straal door *Q* en *I* gedraagt zich als een straal die van dit schijfje afkomstig is. *H* zij de hoogte van de rechthoek in *V* die als beeldrechthoek, met hoogte *h*, op de fotogevoelige laag van de opneembuis wordt afgebeeld. Dan is $d'/h = d/H$, d.w.z. dat d/H een maat is voor de relatieve onscherpte waarmee punten *Q* van voor- en achtergrond van de scène worden afgebeeld. Bij vervanging van de ene camera door de andere, waarbij steeds *I* op dezelfde plaats komt, blijft derhalve de relatieve onscherpte — en dus de scherptediepte — gelijk, mits *D* gelijk wordt gehouden.

Hebben de objectieven bovendien dezelfde intreepupil, dan is ook aan de voorwaarde van gelijke scherptediepte voldaan (*fig. 3*).

In de praktijk kent men van elk objectief de brandpuntsafstand *f* en de relatieve opening *D/f*. Hierin stelt *D* de diameter van de intreepupil voor. De voorwaarde van gelijke intreepupil betekent dat het produkt van brandpuntsafstand en relatieve opening gelijk moet zijn. Neemt men een scène op met een beeldorthiconcamera, voorzien van een objectief 1:5,6/50 mm, dan moet men dus als men overgaat tot een „Plumbicon" de desbetreffende camera voorzien van een objectief 1:2,8/25 mm, want de beeldrechthoek van het „Plumbicon" heeft afmetingen die 2× zo klein zijn als die van het beeldorthicon. Het is gebruikelijk bij vergelijking van de gevoeligheid van opneembuizen aan te nemen dat de lenzen aan bovengenoemde voorwaarden voldoen. Kwesties als verkrijgbaarheid, kwaliteit en prijs der lenzen, alsook de gevolgen die de gestelde voorwaarde heeft voor b.v. de afmetingen van een objectief, blijven hier buiten beschouwing [4].

Signaal-lichtkarakteristieken

Het is weinig realistisch om bij vergelijking van verschillende types opneembuizen het begrip gevoeligheid zonder meer te hanteren en te trachten daarvoor één getalwaarde te geven. Een belangrijk gegeven voor de gevoeligheid van een opneembuis is echter wel de zg. signaal-lichtkarakteristiek. Deze karakteristiek geeft de signaalstroom I_s als functie van de verlichtingssterkte E_f op de fotogevoelige laag. *Fig. 4* toont voorbeelden van dergelijke karakteristieken voor een „Plumbicon", een Sb_2S_3-vidicon en een drietal verschillende uitvoeringen van het beeldorthicon. De karakteristieken zijn op dubbellogaritmische schaal uitgezet, een rechte lijn betekent dus dat de signaalstroom een machtsfunctie is van de verlichtingssterkte: $I_s \sim E_f^{\gamma}$, met een constante exponent γ, die gegeven wordt door de helling van de rechte. Is deze helling 45°, wat voor de karakteristieken van beeldorthicon en „Plumbicon" in een groot gebied het geval is, dan is dus I_s evenredig met E_f.

In fig. 4 is langs de horizontale as uitgezet de ge-

[1] E. F. de Haan, A. van der Drift en P. P. M. Schampers, Het „Plumbicon", een nieuwe televisie-opneembuis, Philips techn. T. **25**, 277-295, 1963. Dit artikel wordt verder aangehaald als I.

[2] R. Theile en H. Fix, Eine vergleichende Betrachtung der heute verfügbaren Fernseh-Bildaufnahmeröhren, Radio Mentor **25**, 448-452, 1959.

[3] J. W. Wentworth, Camera tubes for studio use, J. SMPTE **72**, 153-157, 1963.

[4] G. H. Cook, The performance of television camera lenses, J. SMPTE **69**, 406-410 (en 867), 1960.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

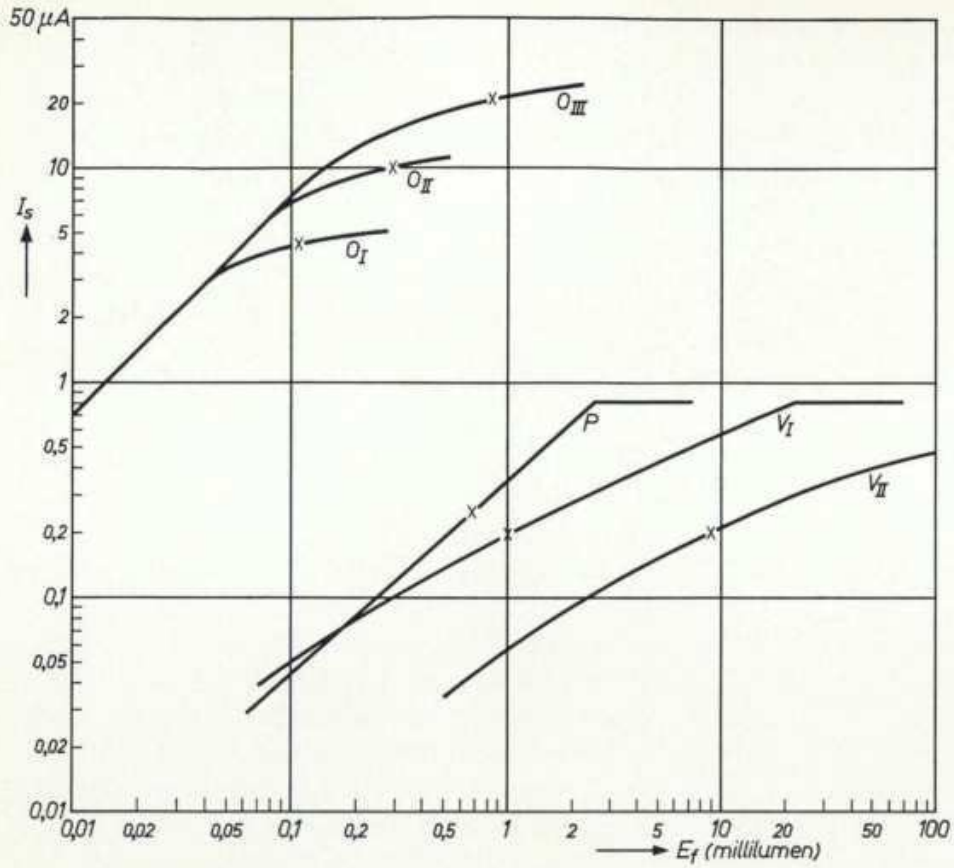


Fig. 4. Signaal-lichtkarakteristieken van verschillende types opneembuizen. Uitgezet is de signaalstroom I_s als functie van de lichtstroom op de fotogevoelige laag, voor een egale verlichting. *P* geldt voor een „Plumbicon" met gemiddelde gevoeligheid (350 μA/lumen), O_I voor een uitvoeringsvorm van een 3"-beeldorthicon met grote gevoeligheid, O_{II} voor een type 3"-beeldorthicon met de knie bij een grotere verlichtingssterkte, O_{III} voor een voorbeeld van een 4½"-beeldorthicon, dat thans veelvuldig wordt toegepast wanneer de hoogste eisen aan de beeldkwaliteit worden gesteld.

V_I geldt voor een Sb_2S_3-vidicon bij gevoelige instelling (signaalplaatspanning V_S = ca. 40 V, donkerstroom I_d = 0,02 μA), V_{II} voor een zelfde vidicon bij lagere signaalplaatspanning (V_S = ca. 15 V, I_d = 0,005 μA) en betere responsiesnelheid.

Met een kruisje is in iedere karakteristiek het werkpunt aangegeven, waaruit de verlichtingssterkte kan worden bepaald die voor een optimale instelling wordt vereist.

reduceerde verlichtingssterkte E_f (in millilumen), d.i. het produkt van verlichtingssterkte en oppervlakte van de beeldrechthoek. Alleen op deze wijze kunnen opneembuizen die verschillen in beeldrechthoek direct worden vergeleken, omdat deze grootheid bij gelijke scèneverlichting en scherptediepte onafhankelijk van de grootte van de beeldrechthoek is.

Nemen de buizen precies dezelfde scène op met objectieven die een zelfde diameter van de intreepupil hebben, wat als voorwaarde gesteld is voor een rechtvaardige vergelijking, dan zijn de verlichtingssterkten in lux in overeenkomstige punten van hun fotogevoelige lagen omgekeerd evenredig met de oppervlakten van de beeldrechthoeken. Het voornoemde produkt is dus een grootheid die van de oppervlakte onafhankelijk is.

Bij een vergelijking van deze karakteristieken dient men niettemin nog behoedzaam te zijn. Zo is bij de beeldorthicons de signaalstroom weliswaar veel groter dan bij „Plumbicon" en Sb_2S_3-vidicon, doch hieruit mag niet geconcludeerd worden dat de gevoeligheid groter is. De bij een beeldorthicon ingebouwde secundaire-emissieversterker („multiplier") zorgt voor deze grote signaalstroom. Belangrijk voor de gevoeligheid is alleen de ligging van het optimale instelpunt of werkpunt en de daarbij behorende waarde van de verlichtingssterkte. Het zal blijken dat een belangrijke factor bij de keuze van dit werkpunt de signaal-ruisverhouding in het televisiesignaal is.

In fig. 4 zijn met een kruisje enkele in de praktijk gebruikelijke werkpunten aangegeven. Voor beeldorthicons zijn verschillende uitvoeringsvormen gekozen, die nog nader zullen worden toegelicht; voor het Sb_2S_3-vidicon (in het vervolg duiden we dit gemakshalve eenvoudig aan als hèt vidicon) zijn twee karakteristieken getekend, behorend bij twee verschillende instellingen. Voor het „Plumbicon" is slechts één karakteristiek voor een buis met een bepaalde gemiddelde gevoeligheid getekend. De factoren die de keuze van het werkpunt bepalen, zullen nu nader worden besproken.

Signaal-ruisverhouding

Onder de signaal-ruisverhouding van een televisiecamerasignaal wordt algemeen verstaan de verhouding van het nuttige signaal *S* tot de effectieve waarde *N* van de ruis (vaak uitgedrukt in dB). Indien *S* zich manifesteert als een signaalstroom, denken we bij *N* ook aan een ruisstroom. Is de ruis in het signaal niet afhankelijk van *S*, dan is de signaal-ruisverhouding evenredig met *S*; om een bepaalde situatie te karakteriseren, behoeft men dan slechts de waarde S_W/N te geven, waarin S_W het signaal is van de helderste partij in de scène (zg. top-wit).

Het komt echter voor dat *N* een functie is van *S*. Bij een beeldorthicon is dit het geval, maar vooral bij het „Plumbicon" is door het toepassen van een niet-lineaire versterking, de zg. gammacorrectie, de waarde

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

van N sterk afhankelijk van S. Wij zullen daarom invoeren de zg. equivalente ruis N_{eq}, die niet afhangt van S en visueel evenveel stoort als de werkelijk aanwezige ruis. Door Theile en Fix [5] is aan de hand van statistische gegevens en van beoordelingen door proefpersonen vastgesteld dat een bruikbare formule voor N_{eq} is:

$$N_{eq} = \frac{N_W + 3\,N_G + 2\,N_Z}{6}. \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Hierin stellen N_W, N_G en N_Z de effectieve waarden voor van de ruis in het signaal dat beantwoordt aan top-wit, midden-grijs (signaal 40% van top-wit) en zwart (b.v. 2% van top-wit).

Een tweede factor die belangrijk is bij de bepaling van de signaal-ruisverhouding is het frequentiespectrum van de ruis, het zg. ruiskarakter. Visueel stoort, zoals bekend, hoogfrequente ruis veel minder dan laagfrequente ruis. Door diverse onderzoekers [5][6] is getracht dit visuele verschil te analyseren en vast te leggen in een getalwaarde of kromme, die een maat zou kunnen zijn voor de mate van hinderlijkheid van verschillende ruisfrequenties. Deze visuele verschillen in hinderlijkheid worden van nog meer betekenis wanneer beelden moeten worden vergeleken waarin het ruisspectrum een sterk verschillend karakter heeft, of wanneer ruismetingen moeten worden gedaan aan signalen waarvan de ruisbijdragen een verschillend frequentiespectrum hebben.

Bij beeldorthicons is de signaalstroom door de ingebouwde secundaire-emissieversterker zo groot dat de ruisbijdrage in de signaalstroom geheel geleverd wordt door de opneembuis zelf. Deze ruis is vrijwel onafhankelijk van de frequentie, het ruisspectrum is een horizontale lijn. Men spreekt van vlakke of „witte" ruis (waarbij het begrip „wit" niets te maken heeft met witte partijen in het beeld).

Bij vidicons en bij het „Plumbicon" is de signaalstroom die de opneembuis levert vele malen kleiner en de ruisbijdrage is vrijwel geheel afkomstig van de zeer gevoelige ingangsschakeling van de elektronische signaalversterker. Dergelijke ingangsschakelingen worden ontworpen voor minimale ruisbijdrage, en het gevolg is dat de ruis in het signaal een frequentie-afhankelijk karakter krijgt: in de meeste gevallen neemt de effectieve ruisstroom vrijwel lineair met de frequentie toe. Men spreekt van „oplopende" of „driehoeks"-ruis.

Voor ruismetingen wordt in de praktijk veelvuldig gebruik gemaakt van een zg. ruiswaarderingsfilter, waarvan de kromme die de doorlating als functie van de frequentie weergeeft, de gemiddelde ruishinderlijkheidskromme zeer goed benadert. *Fig. 5a* geeft schematisch een dergelijk filter, fig. 5*b* de bijbehorende ruishinderlijkheidskromme. Voor een vergelijkende

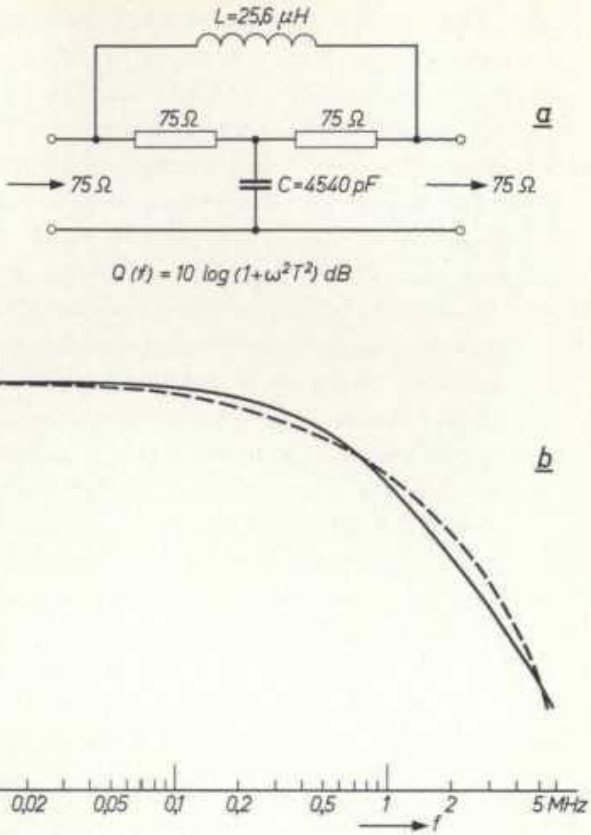


Fig. 5. *a*) Filter dat in de praktijk kan worden toegepast om bij ruismetingen rekening te houden met de visuele ruiswaarderingsfactor. De waarden zijn zo gekozen dat $T = 0{,}33$ µs (aanbeveling van CCIR).
b) Dempingskarakteristiek van dit filter (getrokken) in vergelijking met de statistisch vastgestelde ruishinderlijkheidskromme (gestippeld).

beschouwing van beeldorthicon (met vlakke ruis) en „Plumbicon" (met oplopende ruis) is het echter eenvoudiger om gebruik te maken van één enkele getalwaarde voor de relatieve hinderlijkheid („noise weighting factor", „Rauschbewertungsfaktor"). Deze getalwaarde, die het verschil in hinderlijkheid aangeeft tussen vlakke ruis en driehoeksruis, is voor een bandbreedte van 5 MHz te stellen op 2,25 (7 dB). Vergelijkt men waarden voor de signaal-ruisverhouding met elkaar die zijn afgeleid uit metingen gedaan zonder ruiswaarderingsfilter, dan betekent bij „Plumbicon" en vidicon een 7 dB lagere getalwaarde dan bij beeldorthicon een gelijke visuele hinderlijkheid van de in het signaal aanwezige ruis.

Karakteristieken en werkpunt bij vidicons

De signaal-lichtkarakteristiek van een opneembuis wordt altijd in zekere mate beïnvloed door de verschil-

[5] R. Theile en H. Fix, Zur Definition des durch die statistischen Schwankungen bestimmten Störabstandes im Fernsehen, Archiv elektr. Übertr. **10**, 98-104, 1956. Zie ook blz. 64 van het tweede der in noot [6] aangehaalde artikelen.

[6] J. Müller en E. Demus, Ermittlung eines Rauschbewertungsfilters für das Fernsehen, Nachrichtentechn. Z. **12**, 181-186, 1959. Zie ook H. Fix en A. Kaufmann, Die spektrale Zusammensetzung der statistischen Schwankungen bei zur Zeit üblichen Fernsehkameraanlagen, Rundfunktechn. Mitt. **4**, 60-65, 1960.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

lende gelijkspanningsinstellingen van de buis. Bij vidicons hangt de karakteristiek vooral sterk af van de signaalplaatspanning V_S. Dit blijkt duidelijk uit fig. 4, waar twee karakteristieken getekend zijn voor verschillende waarden van V_S. Dank zij deze afhankelijkheid kan de karakteristiek in een groot gebied aan de verlichtingssterkte worden aangepast. In fig. 4 zijn de vidiconkarakteristieken getekend als flauw gebogen lijnen, waarvan de helling varieert tussen ca. 0,8 en ca. 0,4. Uit de karakteristieken voor lage waarden van V_S blijkt dat I_s bij toenemende verlichtingssterkte E_f verzadiging gaat vertonen: de karakteristieken gaan geleidelijk horizontaal lopen. In de karakteristieken voor grote waarden van V_S komt tot uiting dat de karakteristiek met een knik kan overgaan in een horizontale lijn. De knik beantwoordt aan het punt waar de fotostroom zo groot geworden is dat de elektronenstroom in de aftastende elektronenbundel — de zg. bundelstroom — niet meer toereikend is om de afgetaste zijde van de fotogevoelige laag op katodepotentiaal te stabiliseren. Dit is dus een niet-stabiele toestand. Vergroot men de bundelstroom, dan verschuift deze knik naar een grotere waarde van I_s.

Men dient uiteraard overschrijding van dit knikpunt te vermijden, niet zozeer omdat bij een horizontale karakteristiek alle contrast verloren is, maar vooral omdat niet-gestabiliseerde vlakken in het beeld verschijnen als heldere vlekken die de neiging hebben zich uit te breiden (op te blazen) en ook pas langzaam verdwijnen als E_f weer daalt tot beneden de knikwaarde. Bij bewegende beelden ontstaan dan zeer onnatuurlijke nabeelden. Deze verschijnselen, die zich bij iedere aftasting met zg. langzame elektronen voordoen als de bundelstroom is ingesteld op een te kleine waarde, treden eveneens op bij het „Plumbicon", en ook bij het beeldorthicon kan bij onjuiste instelling een soortgelijk effect optreden.

De signaalplaatspanning V_S bepaalt bij het vidicon echter mede de donkerstroom I_d, d.i. de signaalstroom die door de buis wordt afgeleverd als er geen licht op de laag valt. Met toenemende waarde van V_S neemt I_d meer dan lineair toe. Zo is b.v. voor $V_S = 15$ volt de waarde van I_d ca. 0,005 μA, maar voor $V_S = 40$ volt kan I_d waarden van 0,02 tot 0,1 μA krijgen. De donkerstroom is tevens sterk afhankelijk van de temperatuur. Deze donkerstroom uit zich in het televisiesignaal als een ongelijkmatig stoorsignaal, waardoor de beeldkwaliteit ongunstig wordt beïnvloed. Wordt de waarde van I_d en daardoor de ongelijkmatigheid over het beeldvlak te groot, dan moeten zelfs elektrische correctiesignalen worden gevormd om de ongelijkmatigheid van I_d te compenseren.

Voor de responsiesnelheid geldt dat deze nagenoeg alleen afhangt van E_f, en wel is hij groter naarmate E_f groter is. Twee oorzaken beperken de responsiesnelheid, nl. de bundelstroomtraagheid — die samenhangt met het mechanisme van de aftasting door een elektronenbundel en mede afhankelijk is van E_f — en de fotostroomtraagheid: het duurt enige tijd tot de stroom door de fotogeleidende laag zich bij een veranderde waarde van E_f heeft aangepast (zie I, blz. 290 en 291).

De geringe responsiesnelheid bij kleine waarden van E_f, die zo typisch is voor vidicons, komt geheel op rekening van de fotostroomtraagheid. Wij zullen later zien dat bij het „Plumbicon" de fotostroomtraagheid een geheel ander karakter heeft: zij hangt niet af van E_f en wordt door V_S slechts in geringe mate beïnvloed; boven een zekere waarde van V_S is de fotostroomtraagheid verwaarloosbaar ten opzichte van de bundelstroomtraagheid.

De afhankelijkheid van diverse parameters maakt het bij het vidicon moeilijk om nauwkeurig één geschikt werkpunt op te geven. Wij kunnen geen keuze doen zonder de gevolgen daarvan voor de beeldkwaliteit nader te analyseren. Eenvoudiger is het daarom, enkele situaties te kiezen en na te gaan wat bij de gekozen instelling de gevolgen zijn voor gevoeligheid, traagheid, beeldkwaliteit enz. Uit een en ander volgt echter wel de enorme flexibiliteit van een vidicon, want het is mogelijk door regelen van V_S een zeer groot gebied van verlichtingssterkten te verwerken zonder verdere instellingen te wijzigen, waardoor geheel geautomatiseerde camera's eenvoudig gerealiseerd kunnen worden.

Nadere beschouwing waard is een situatie waarbij gestreefd wordt naar optimale beeldkwaliteit in alle opzichten.

Als voorbeeld nemen we een instelling met een nuttige signaalstroom $I_s = 0{,}2$ μA, een waarde waarbij een zeer goede signaal-ruisverhouding is bereikt; een donkerstroom $I_d = 0{,}005$ μA, voldoende klein ten opzichte van I_s; en een verlichtingssterkte op de fotogeleidende laag, groot genoeg voor een goede responsiesnelheid. Onder die voorwaarden zal V_S liggen tussen 10 en 20 V, afhankelijk van de temperatuur en de spreiding tussen vidicons onderling, en de daarbij behorende lichtstroom op de laag zal ongeveer 10 millilumen bedragen, corresponderend met een verlichtingssterkte op de laag van ca. 80 lux.

Een andere situatie, waarbij de beeldkwaliteit nog als acceptabel mag worden beschouwd, doch waarbij de traagheidseffecten reeds storend kunnen worden en de donkerstroom I_d reeds ongeveer 10% van I_s bedraagt, wordt verkregen met waarden van V_S tussen 30 en 40 V. Voor $I_s = 0{,}2$ μA, dus $I_d = 0{,}02$ μA, is de vereiste lichtstroom ongeveer een factor 10 kleiner en is een verlichtingssterkte van 8-10 lux op de laag nodig.

Een zeer *gevoelige* instelling krijgt men met waarden van V_S boven 50 V. I_d is daarbij 0,1-0,2 μA en van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

dezelfde orde van grootte als de nuttige signaalstroom, en de traagheid is bij bewegende beelden uitermate storend. Niettemin is de beeldkwaliteit bij deze instelling, waarbij een verlichtingssterkte op de laag van 2-3 lux voldoende is, voor een aantal industriële toepassingen nog alleszins acceptabel.

Karakteristieken en werkpunt bij beeldorthicons

Het gedrag van een beeldorthicon — we zeiden het reeds — is sterk afwijkend en niet gemakkelijk vergelijkbaar met dat van vidicon of „Plumbicon". De signaal-lichtkarakteristiek is slechts in geringe mate afhankelijk van de instelspanningen en wordt door andere factoren bepaald. Zoals blijkt uit fig. 4, zijn bij het beeldorthicon wel verschillende karakteristieken mogelijk, maar deze worden verkregen bij *verschillende types* van de buis. Het is niet goed mogelijk, zonder onaangename bijeffecten de karakteristiek van één bepaald type te verschuiven door variatie van instellingen, en de praktische consequentie zal zijn dat voor verschillende toepassingen verschillende uitvoeringsvormen van het beeldorthicon gekozen worden.

Beschouwen we de signaal-lichtkarakteristiek enigszins nader, dan blijkt over een zeker gebied van verlichtingssterkten de signaalstroom lineair afhankelijk van de verlichtingssterkte te zijn en boven een zekere waarde (de zg. knie) snel verzadigd te geraken. In tegenstelling met wat bij vidicons het geval is, bestaat hier een volkomen stabiele situatie indien de bundelstroom zodanig is ingesteld dat helderheden groter dan de waarde waarbij de knie optreedt, kunnen worden verwerkt. In het praktische gebruik kan men deze eigenschap als een belangrijk voordeel beschouwen. De lichtregeling (met andere woorden de instelling van het werkpunt) is niet kritisch, doordat de knie fungeert als een automatische begrenzing van de signaalstroom. Het is daardoor mogelijk een grote verscheidenheid van scènes met aanmerkelijke verschillen in helderheid van witte partijen en met glimlichten door spiegelende reflexies op te nemen zonder wijziging van de instelling. Het is bovendien mogelijk de meeste op te nemen scènes eenvoudig in te passen in de beperkte helderheidsomvang van het televisiesysteem. Voor goede beeldkwaliteit moet echter de verlichtingssterkte op de gevoelige laag (fotokatode) met zorg worden ingesteld. Dit geschiedt met behulp van regelbare diafragma's en/of grijsfilters. Het optimale instelpunt of werkpunt bij beeldorthicons ligt ongeveer in de knie. Als algemene regel kan worden genomen dat de beste instelling wordt verkregen indien de verlichtingssterkte op de laag zo wordt geregeld dat de witte partijen van een scène waarvan nog detailinformatie moet worden weergegeven, in de gegeven karakteristiek juist over de knie heen gaan.

Een bijkomend voordeel, dat hier niet nader zal worden toegelicht maar voor de instelling uitermate belangrijk is, is de extra-scherpte die wordt verkregen wanneer de knie gepasseerd is. Het begrip scherpte wordt hier al moeilijk te definiëren, maar dezelfde principiële eigenschap die in een beeldorthicon aanleiding is voor het ontstaan van een knik in de karakteristiek, is eveneens oorzaak van een zekere contourscherpte bij zwart-witovergangen. Dit effect geeft, mits niet overdreven, een duidelijk zichtbare scherpteverbetering van gemiddelde beelden. (De fysische oorzaak van een en ander is een optredende redistributie van elektronen die het ladingsbeeld opbouwen.)

Het genoemde feit dat de optimale instelling in of juist over de knie ligt, brengt met zich mee dat de gevoeligste uitvoering van het beeldorthicon (knie bij kleinste verlichtingssterkte) wat de signaal-ruisverhouding betreft een relatief slecht figuur slaat. Uit fig. 4 blijkt immers dat van de diverse uitvoeringen de gevoeligste ook de kleinste signaalstroom levert. De signaal-ruisverhouding, die geheel door de opneembuis wordt bepaald en evenredig is met de wortel uit de signaalstroom, is derhalve bij deze uitvoering het slechtst. De ontwikkeling van de beeldorthicons in de laatste jaren is er op gericht geweest om de knie te verschuiven en daardoor een betere signaal-ruisverhouding te bereiken. De meest significante verbetering is het zg. 4½"-beeldorthicon, dat in vergelijking met het 3"-beeldorthicon een hoger gelegen knie heeft, een betere signaal-ruisverhouding, betere scherpte en de mogelijkheid om een grotere helderheidsomvang te verwerken zonder storende bijeffecten.

De begrippen 3"- en 4½"-beeldorthicon zijn gerelateerd aan de doorsnede van de buis. De ingebouwde elektronenoptische afbeelding heeft het mogelijk gemaakt dat het optische beeld in beide uitvoeringen dezelfde afmetingen heeft behouden. De ingebouwde trefplaat, waarop het potentiaalbeeld wordt gevormd dat door de elektronenbundel wordt afgetast, is echter bij een 4½"-uitvoering ongeveer 3 × zo groot in oppervlakte.

Behalve de grootte van deze trefplaat zijn nog andere factoren van invloed op de plaats van de knie, zodat in beide types nog weer verschillende uitvoeringsvormen mogelijk zijn. De nieuwste 3"-types benaderen in de meeste eigenschappen een gemiddeld 4½"-type, en hoewel de signaal-ruisverhouding en scherpte in de 4½"-uitvoering principieel beter zijn, zijn de verschillen zo gering geworden dat beide types naast elkaar worden gebruikt.

Ten aanzien van de traagheid valt op te merken dat uitsluitend ontladingstraagheid een rol speelt. Deze is bij optimale instelling gering; alleen onder ongunstige verlichtingscondities, waarbij ook het werkpunt ver beneden de knie is gelegen, zijn de gevolgen van ontladingstraagheid merkbaar.

Een nadelig element is dat niet zozeer traagheid maar een zekere mate van inbranden beperkingen oplegt. Wanneer een orthiconcamera een zekere tijd (enkele minuten b.v.) op één scène gericht is geweest,

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

ontstaat een ingebrand beeld, waardoor de camera voor enige tijd onbruikbaar kan zijn. Bediening door onervarenen kan dan ook leiden tot blijvende beschadiging van de buis.

Uit fig. 4 blijkt dat een 4½"-beeldorthicon, optimaal ingesteld, een factor 2 ongevoeliger is dan een vergelijkbare 3"-uitvoering, waar tegenover staat een verbetering in signaal-ruisverhouding die van 36 dB bij een 3"-type tot 39 dB bij een 4½"-beeldorthicon kan stijgen

Karakteristiek en werkpunt bij het „Plumbicon"

De signaal-lichtkarakteristiek van het „Plumbicon" vertoont bij lage signaalplaatspanningen V_S een soortgelijke verschuiving als die van de vidicons. Door de bijzondere eigenschappen van de fotogevoelige laag van het „Plumbicon" raakt de signaalstroom echter snel verzadigd bij toenemende V_S, en boven $V_S = 30$ V is aan de toeneming van de gevoeligheid vrijwel een eind gekomen; met andere woorden, voor $V_S > 30$ V is er slechts sprake van één vaste karakteristiek. Wordt bij constante V_S de verlichtingssterkte E_f opgevoerd, dan vinden we evenals bij de vidicons een punt waar de karakteristiek plotseling overgaat in een horizontale lijn ten gevolge van een ontoereikende bundelstroom, waardoor niet meer op katodepotentiaal kan worden gestabiliseerd. Ook bij het „Plumbicon" is het natuurlijk mogelijk deze knik te verschuiven door variatie van de bundelstroom.

Een opvallend verschil met vidicons is echter dat de „Plumbicon"-karakteristiek in het stabiele gedeelte een rechte lijn is onder 45°, hetgeen betekent dat I_s evenredig is met E_f. Het is alleen in dit geval mogelijk de gevoeligheid vast te leggen in een enkele getalwaarde, uit te drukken in microampères per lumen. De waarde voor deze gevoeligheid van een „Plumbicon" ligt tussen 300 en 400 μA/lumen.

De bepaling van het optimale instelpunt zal in het onderstaande worden toegelicht en vervolgens meer kwantitatief worden behandeld. Bij het beeldorthicon werd het werkpunt geheel bepaald door de knie van de karakteristiek, en daaruit resulteerden waarden voor signaal-ruisverhouding, toelaatbare helderheidsomvang en gevoeligheid. Bij vidicons bleek de keuze van het werkpunt een compromis tussen traagheidseffecten, donkerstroom en beschikbare lichthoeveelheid. Bij het „Plumbicon" zal blijken dat het optimale instelpunt eveneens door de invloed van verschillende factoren wordt bepaald.

Zoals reeds in de inleiding werd vermeld en uitvoerig is beschreven in I, heeft het „Plumbicon" in vergelijking met vidicons twee belangrijke voordelen. Ten eerste: de donkerstroom is verwaarloosbaar klein en wordt ook niet veel groter bij hogere waarden van V_S. Ten tweede: de fotostroomtraagheid is zeer gering en onafhankelijk van de verlichtingssterkte E_f. Wel is in het algemeen de fotostroomtraagheid in zekere mate afhankelijk van V_S, maar bij normale waarden van V_S is zij verwaarloosbaar ten opzichte van de bundelstroomtraagheid.

Deze voordelen maken de bepaling van het instelpunt tot een eenvoudige zaak. Wordt het werkpunt laag gekozen, dan is de vereiste verlichtingssterkte gering (met andere woorden de gevoeligheid groot), de signaalstroom gering en de signaal-ruisverhouding slecht. Wordt het werkpunt hoger gelegd, dan is meer licht vereist, maar de signaalstroom wordt evenredig groter en de signaal-ruisverhouding eveneens evenredig beter.

De hoeveelheid ruis in het signaal is dus vrijwel doorslaggevend geworden voor de keuze van het instelpunt, en alle factoren die deze ruis beïnvloeden, zijn derhalve direct van invloed op de keuze van het werkpunt.

Zoals reeds beschreven werd voor het vidicon, kan door een ontoereikende bundelstroom de karakteristiek abrupt overgaan in een horizontale lijn, waardoor een niet-stabiele toestand van „overbelichting" ontstaat. De lineaire karakteristiek van het „Plumbicon" maakt de kans op overbelichting door plotselinge toeneming van de verlichtingssterkte of door het optreden van spiegelende reflexies groter dan bij de verzadiging vertonende karakteristiek van vidicons. Het is noodzakelijk met deze situatie terdege rekening te houden, en de consequentie is dan ook dat door diafragmeren van de optiek, door het gebruik van grijsfilters of door het aanpassen van de verlichtingssterkte op de scène de kans op overbelichting moet worden gereduceerd. Een snelle en nauwkeurige lichtregeling, in welke vorm dan ook, is dus voor een camera met „Plumbicon" uiterst belangrijk. Het optreden van toevallige spiegelende reflexies kan echter niet of nauwelijks worden vermeden en dergelijke glimlichten mogen ook geen overbelichting geven. De knik in de karakteristiek moet daarom met een voldoende veiligheidsmarge boven het werkpunt liggen. Men kan deze knik omhoogschuiven door vergroten van de bundelstroom, doch dit komt de scherpte niet ten goede. Met het oog op de genoemde veiligheidsmarge is het dus aan te bevelen het werkpunt nimmer hoger te kiezen dan voor een acceptabele signaal-ruisverhouding nodig is.

Kwantitatieve bepaling van het werkpunt bij het „Plumbicon"

Wij zullen nu nader bepalen welke signaalstroom nodig is om een bepaalde beeldkwaliteit te krijgen. Als uitgangspunt nemen we de signaal-ruisverhouding, die zoals eerder werd besproken daarbij een belangrijke factor is. We onderstellen dat de signaal-ruisverhouding van het uitgangssignaal 40 dB zal bedragen voor

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

vlakke ruis, een waarde die met de beste beeldorthicons nauwelijks bereikbaar is en in het algemeen als ruim voldoende wordt beschouwd voor studiotoepassingen. Zoals vermeld (zie blz. 97), is bij het vidicon en bij het „Plumbicon" de belangrijkste ruisbron de ingangsschakeling van de signaalversterker, en deze ruis is frequentieafhankelijk. Een signaal-ruisverhouding van minstens 40 dB voor vlakke ruis betekent in het geval van driehoeksruis dat de verhouding S/N tussen top-signaalstroom en effectieve ruisstroom minstens $100 : 2{,}25 = 45$ moet bedragen.

In *fig. 6* zijn getekend de schakels van een camera-signaalversterker die invloed hebben op de signaal-ruisverhouding van het uitgangssignaal, nl. de voorversterker A_v, de vlekcorrector A_a („aperture corrector") en de gammacorrector A_γ. De voorversterker is altijd

Uit de formule blijkt dat bij een gegeven frequentiebandbreedte de grootheden C_t en R_t de bereikbare waarde van S/N beperken, en vooral de parasitaire capaciteit is belangrijk. Met de praktische waarden $F = 5$ MHz, $C_t = 25$ pF en $R_t = 200\ \Omega$ vindt men uit (2):

$$\frac{S}{N} \approx 5{,}6 \times 10^8\, I_s\,,$$

zodat, om aan de uitgang van A_v een signaal-ruisverhouding van 40 dB te krijgen (waarbij S/N minstens 45 moet zijn), een minimale signaalstroom (voor topwit) van 0,08 μA vereist is. Praktisch moet — mede door de ruisbijdrage van R_S — met een nog iets ongunstiger verhouding worden gerekend en een vereiste signaalstroom $I_s = 0{,}1$ μA als reële waarde worden

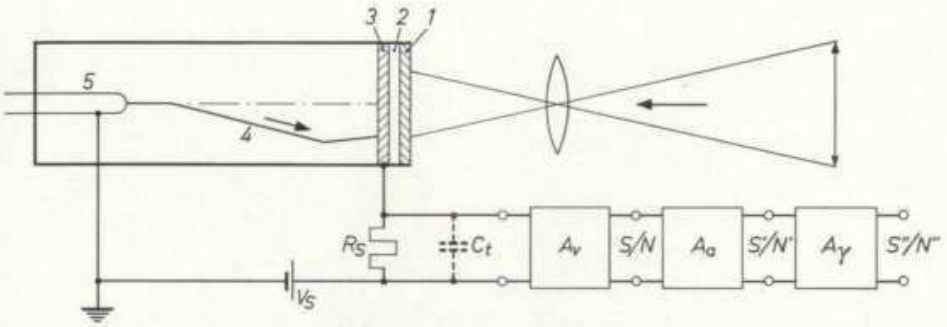


Fig. 6. Aansluiting van vidicon of „Plumbicon" op de voorversterker A_v door middel van de signaalweerstand R_S. De parasitaire capaciteit C_t beperkt, samen met de equivalente ruisweerstand van de ingangstrap in A_v, de signaal-ruisverhouding aan de uitgang van A_v. *1* glasvenster. *2* doorzichtige signaalplaat. *3* fotogevoelige laag. *4* elektronenbundel. *5* katode. V_S signaalplaatspanning (zie I, fig. 2). A_a en A_γ zijn delen van de signaalversterker die dienen voor de vlekcorrectie en de gammacorrectie.

aanwezig; in hoeverre men vlekcorrectie en gammacorrectie toepast, hangt, zoals we zullen zien, enigszins van de omstandigheden af.

De opneembuis, waarvan we de eigen ruis mogen verwaarlozen, is via een signaalweerstand R_S op de voorversterker A_v aangesloten. Bij analyse [7] blijkt dat — als we de uitgangsimpedantie van de opneembuis oneindig groot onderstellen — de signaal-ruisverhouding aan de uitgang van A_v met toenemende R_S nadert tot een maximale waarde, gegeven door:

$$\frac{S}{N} = 22 \times 10^8\, \frac{I_s}{FC_t\sqrt{FR_t}}\,. \qquad \ldots\ . \quad (2)$$

Hierin is F de breedte van de frequentieband, R_t de zg. equivalente ruisweerstand van de ingangsschakeling van de voorversterker en C_t de totale parasitaire capaciteit die parallel aan R_S aanwezig is. De constante 22×10^8 is de waarde bij kamertemperatuur van $\sqrt{3/(16\pi^2 kT)}$.

aangenomen. Niet onvermeld mag blijven dat door ingewikkelder schakelingen van de voorversterker, het gebruik van uitgezochte elementen en nauwkeurige instellingen de waarden voor C_t en R_t nog kunnen worden verkleind [8].

Invloed van vlekcorrectie

De scherpte van het beeld wordt door een aantal factoren beperkt. Voor een groot deel is dit een gevolg van begrenzingen in de opneembuis zelf (zie I, blz. 289). maar ook het optische gedeelte kan enige beperking geven. Vooral de tegenwoordig veelvuldig toegepaste „zoom"-lenzen (lenzen met continu variabele brandpuntsafstand) zijn bij grote apertuur niet ideaal. De vlekcorrectie — een correctie voor de te grote (effectie-

[7] V. K. Zworykin en G. A. Morton, Television, Wiley, New York 1954 (2e druk), blz. 529-532.

[8] K. Sadashige, A study of noise in television camera preamplifiers, J. SMPTE **73**, 202-206, 1964.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ve) afmetingen van de aftastvlek van de elektronenbundel in de opneembuis, in het Engels „spot correction" of vaker „aperture correction" genoemd — kan de scherpte verbeteren. Een simpele elektronische schakeling die een met de frequentie toenemende versterking levert zonder introductie van fazefouten, kan althans in horizontale richting de beeldscherpte optimaal maken [9]. Voor lage frequenties geeft de vlekcorrector geen versterking, zodat bij tussenschakeling van A_a de amplitudewaarden van het signaal voor grote vlakken in het beeld niet veranderen, maar de hogere signaalfrequenties en dus ook de hogere frequenties in het ruisspectrum worden extra versterkt.

De waarde van de modulatiediepte van het huidige „Plumbicon" is bij 5 MHz niet meer dan 50% van de waarde bij 0,5 MHz, zodat voor optimale correctie de extraversterking bij 5 MHz minstens een factor twee (6 dB) moet bedragen. Nadere analyse leert dat hierdoor de signaal-ruisverhouding bij driehoeksruis een factor 1,3 achteruitgaat. Willen we de oorspronkelijk aangenomen waarde van 40 dB voor de signaal-ruisverhouding handhaven en van de scherptewinst door vlekcorrectie volledig gebruik maken, dan moet dus I_s worden vergroot tot 0,13 μA.

Scherptewinst wordt hier dus bereikt ten koste van gevoeligheid. Is voldoende licht beschikbaar, dan is deze optimale correctie uiteraard gewenst, maar is weinig licht beschikbaar (b.v. bij avondopnamen), dan moet een compromis worden gesloten tussen scherpte en ruis door een verantwoorde instelling van de vlekcorrector.

Invloed van gammacorrectie

De genoemde vlekcorrectie wordt ook veelvuldig in vidiconcamera's toegepast. De nu te bespreken gammacorrectie is alleen nodig bij „Plumbicon" buizen.

De reden is dat bij een weergeefbuis de luminantie van het scherm ongeveer kwadratisch of nog sterker toeneemt met de aan het stuurrooster van die buis toegevoerde signaalspanning. Wil men de schermluminantie evenredig maken met de overeenkomende luminantie in de opgenomen scène, dan moet het uitgangssignaal van de camera ongeveer evenredig zijn met de wortel uit de scèneluminantie. Bij vidicons is dit ongeveer het geval doordat in de signaal-lichtkarakteristiek $I_s \sim E_f^{0,6}$, terwijl E_f uiteraard evenredig is met de luminantie in de scène. Bij beeldorthicons is de evenredigheid minder goed, maar de invloed van de knie, en het bijkomende feit dat ook de gemiddelde scèneinhoud de karakteristiek beïnvloedt, maken dat een werkelijke gammacorrector zelden wordt toegepast.

Bij het „Plumbicon" daarentegen, waar I_s evenredig is met E_f en tot aan het labiele punt van niet-stabiliseren geen enkele begrenzing of verzadiging optreedt, is de gammacorrector A_γ onmisbaar. Dit is een niet-lineaire versterker, die wordt gekenmerkt door het volgende verband tussen uitgangssignaal S'' en ingangssignaal S' (*fig. 7*):

$$\frac{S''}{S_{W''}} = \left(\frac{S'}{S_{W'}}\right)^{\gamma}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Met de index W is weer aangeduid het signaal voor top-wit. De versterking S''/S', die hier afhangt van de signaalgrootte, wordt gegeven door de helling van de verbindingslijn met de oorsprong (afgezien van de constante factor S_W''/S_W'). Ook de op S' gesuperponeerde ruis N' wordt versterkt, maar deze versterking wordt bepaald door de helling van de raaklijn ter plaatse S'.

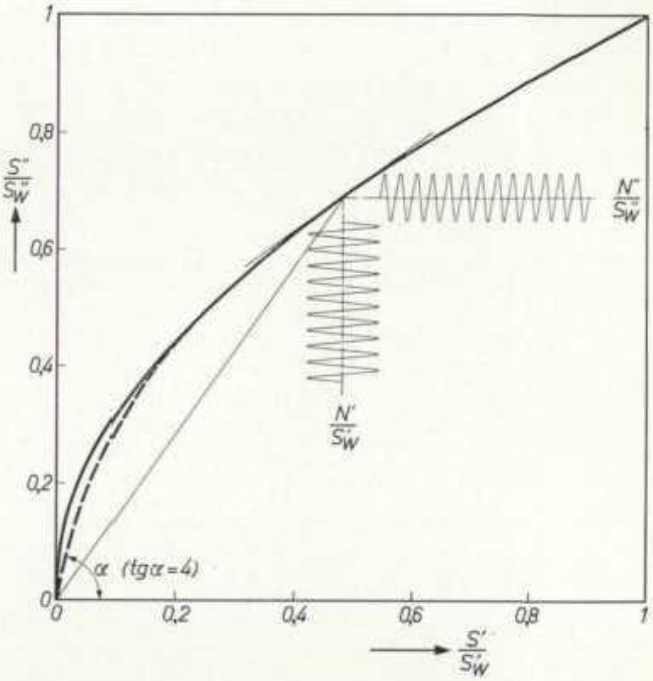


Fig. 7. Karakteristiek van de gammacorrector voor een opneembuis waarbij signaalstroom en verlichtingssterkte evenredig zijn, zoals bij het „Plumbicon". S' is het ingangssignaal, S'' het uitgangssignaal, S_W' en S_W'' zijn de signaalwaarden voor top-wit. Voor de relatieve versterking van het signaal S' en de daarop gesuperponeerde ruis N' zijn resp. de hellingen van de rechte door de oorsprong en van de raaklijn bepalend. Theoretisch moet de karakteristiek steeds een kromme zijn met een beginhelling ∞ (want $\gamma < 1$), maar in de praktijk is een helling van 4 in de oorsprong voldoende voor een goede gradatie (zie streeplijn).

Voor een parabolische karakteristiek, waarvoor formule (3) geldt met $\gamma = 0{,}5$, rekent men gemakkelijk na dat het signaal altijd twee keer zoveel wordt versterkt als de ruis.

In weerwil daarvan gaat de genormeerde signaal-ruisverhouding door de gammacorrectie achteruit. We gaan immers (per definitie) uit van een ruis N' die niet afhangt van de signaalgrootte S, maar de versterking van de ruis hangt wel van de signaalgrootte af. We zullen daarom (zie formule 1) de equivalente ruis $N_{eq}'' = \frac{1}{6}(N_W'' + 3N_G'' + 2N_Z'')$ berekenen. De bepaling van N_Z'' geschiedt door de praktische over-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

weging dat bij een werkelijke gammacorrector de raaklijn nooit verticaal zal zijn. Indien de karakteristiek met een helling 4 uit de oorsprong vertrekt en geleidelijk in de parabool overgaat, dan krijgt men ook in de donkere delen van het beeld al een uitstekende gradatie. Dan is $N_Z'' = 4N'$. Verder is bij top-wit $N_W'' = 0{,}5N'$, en bij grijs (waarvoor is aangenomen $S'' = 0{,}4S_W''$) is $N_G'' = 1{,}25N'$, zodat $N_{eq}'' \approx 2N'$.

De genormeerde signaal-ruisverhouding wordt dus door gammacorrectie een factor twee kleiner, en voor het handhaven van de gewenste signaal-ruisverhouding van 40 dB moet dit worden gecompenseerd door een evenredige vergroting van de signaalstroom I_s.

Worden dus in een camera met „Plumbicon" vlekcorrectie en gammacorrectie beide toegepast, dan moet voor de vooropgestelde signaal-ruisverhouding het werkpunt bij $I_s \approx 0{,}25$ μA worden gelegd. Opgemerkt zij nog dat scènes met een geringe helderheidsomvang een andere gammacorrectie kunnen toelaten, b.v. in die zin dat een acceptabele gradatie wordt verkregen indien de karakteristiek uit de oorsprong vertrekt met een helling 2. In dat geval geldt $N_{eq}'' = 1{,}4\ N'$, en voor het werkpunt mag nu de waarde $I_s = 0{,}18$ μA worden genomen.

Is daarentegen de op te nemen scène zodanig dat de helderheidsomvang groot is en de belangrijkste beeldinhoud juist in de donkere partijen is gelegen, dan kan het voorkomen dat het werkpunt bij een hogere waarde I_s moet worden gelegd, om te voorkomen dat bij maximale gammacorrectie de ruis in die donkere gedeelten van het beeld te hinderlijk zou worden. Of men dit doen kan, c.q. hoever men hiermee kan gaan, zal afhangen van de gewenste veiligheidsmarge voor glimlichten, die, zoals hierboven uiteengezet, bij ontoereikende bundelstroom de karakteristiek kunnen doen overgaan in die voor de niet-gestabiliseerde toestand.

Vergelijking van „Plumbicon" en beeldorthicon

Zoals in de inleiding reeds werd gesteld, is een vergelijking van verschillende soorten opneembuizen op zuiver objectieve basis een onmogelijkheid. Een vergelijking tussen vidicon en beeldorthicon kan ook gevoeglijk achterwege blijven, daar deze twee buistypes geheel gescheiden toepassingsgebieden gevonden hebben. Bij het „Plumbicon" daarentegen is, zoals in de inleiding vermeld, de principiële beperking van het vidicon afwezig, zodat het „Plumbicon" ook voor toepassing op hetzelfde terrein als het beeldorthicon in aanmerking komt en een vergelijking met het beeldorthicon mogelijk en nuttig lijkt.

We zullen ons daarbij beperken tot enkele eigenschappen die in het bijzonder van belang zijn, nl. de gevoeligheid, de scherpte, de gradatie en de signaal-ruisverhouding.

Uit fig. 4 en de bepaling van de werkpunten is reeds gebleken dat de gevoeligheid van het „Plumbicon" ongeveer vergelijkbaar is met die van de beste 3″-beeldorthicons. Ook in de praktijk, als men een groot aantal scènes beschouwt, blijkt dit op te gaan. Vergeleken met het 4½″-beeldorthicon is het „Plumbicon" echter gevoeliger, vooral indien mede in aanmerking wordt genomen dat bij beeldorthicons de gevoeligheid met het aantal gebruiksuren vermindert en soms wel een factor 2 terugloopt tijdens de levensduur.

Wat betreft de scherpte, ligt de waardering anders. Zonder corrigerende maatregelen is de beeldscherpte bij het „Plumbicon" slechter dan bij beeldorthicons, vooral in vergelijking met het 4½″-beeldorthicon. Het beeldorthicon, optimaal ingesteld in de knie van de karakteristiek, trekt hier profijt van het eerder genoemde contourversterkende effect, waardoor zwart-witovergangen worden geaccentueerd en een schijnbare scherpteverbetering optreedt. De te constateren verschillen tussen de twee types buizen worden echter aanzienlijk minder indien men vlekcorrectie toepast, hetgeen in horizontale richting vrij eenvoudig is. Verder hangen de verschillen nog af van de mate waarin gammacorrectie wordt toegepast, en van de ingestelde bundelstroom. Zelfs de kleurtemperatuur van het licht speelt mede een rol: buitenopnamen bij hoge kleurtemperatuur met een „Plumbicon" leveren vaak verrassend scherpe beelden.

Ten aanzien van de gradatie moet allereerst worden gezegd dat hier vele factoren meespelen. Beelden van het „Plumbicon", voorzien van een juiste gammacorrectie, munten uit door getrouwe, „fotografische" gradatie in een ruime — hoewel niettemin nog beperkte — helderheidsomvang. Praktisch blijkt echter de gradatie in de weergave van orthiconbeelden evenzeer aanvaardbaar, ook al wordt daar gewoonlijk geen gammacorrectie toegepast, om verkleining van de signaal-ruisverhouding te voorkomen. Het reeds eerder beschreven effect van de knie in de lichtkarakteristiek van het orthicon maakt dat voor een grote verscheidenheid van scènes steeds een optimale situatie kan worden ingesteld. Dit is terecht altijd gezien als een groot voordeel. Met een camera met „Plumbicon", voorzien van een signaalbegrenzer en een instelbare gammacorrector, is echter in de meeste gevallen een beter resultaat te bereiken.

Slechts bij scènes met zeer grote helderheidsomvang en bij het optreden van glimlichten ontstaan voor het „Plumbicon" situaties die de beeldkwaliteit nadelig be-

[9] Vlekcorrectie in verticale richting („vertical aperture correction") is mogelijk b.v. met behulp van vertragingslijnen. Zie hiervoor: C. F. Brockelsby en J. S. Palfreeman, Ultrasone vertragingslijnen en hun toepassing in de televisie, Philips techn. T. **25**, 326-347, 1963.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

invloeden, hetzij door verlies van scherpte, hetzij door traagheidseffecten van de niet-gestabiliseerde hoge lichten, hetzij door meer ruis in het beeld, veroorzaakt doordat het werkpunt moet worden verlegd naar een lagere waarde van de signaalstroom I_s.

De signaal-ruisverhouding voor een bepaald type beeldorthicon wordt gegeven door de buis zelf en bedraagt (bij ruismeting zonder ruiswaarderingsfilter) voor een 3″-type 34-36 dB, voor een 4½″-type 37-39 dB, naar gelang van instelling en levensduur. In de voorafgaande beschouwingen is de vereiste verlichtingssterkte voor het „Plumbicon" berekend voor een signaal-ruisverhouding van 40 dB. Een belangrijk verschilpunt tussen beeldorthicons en „Plumbicon" treedt hier op. Bij een bepaald beeldorthicon is de signaal-ruisverhouding weinig te verbeteren. Indien meer licht beschikbaar is, kan het werkpunt nauwelijks worden verlegd omdat het optreden van de knie in de karakteristiek alle gradatie in de lichte beeldpartijen verloren zou doen gaan. Bij een „Plumbicon" echter kan het werkpunt over de karakteristiek worden verschoven, waardoor de signaal-ruisverhouding, indien dit gewenst zou zijn, nog verbeterd kan worden.

Uit bovenstaande beschouwing volgt dat in toepassingen waar hoge eisen worden gesteld aan de beeldkwaliteit en het gewone vidicon door te geringe gevoeligheid niet kan worden gebruikt, het „Plumbicon" een interessante oplossing biedt en in vele gevallen beelden kan leveren die kwalitatief vergelijkbaar zijn met de beste beelden van beeldorthicons.

Toepassing in kleurentelevisiecamera's [10]

Aan de opneembuizen voor kleurentelevisiecamera's worden zwaardere en ook nog andere eisen gesteld dan aan die voor zwart-wit. Aan vele van deze eisen voldoet juist het „Plumbicon" bijzonder goed.

Uitermate belangrijk voor een goede kleurbalans en juiste kleurgradatie is een goed gedefinieerde en van weinig parameters afhankelijke signaal-lichtkarakteristiek van de opneembuis. Het feit dat de karakteristiek van het „Plumbicon" niet afhankelijk is van de verlichtingssterkte op de laag of van de gemiddelde beeldinhoud, vereenvoudigt dan ook aanmerkelijk de opgave om met een kleurencamera onder allerlei omstandigheden een natuurgetrouwe kleurweergave te verkrijgen.

Storingen zoals een ongelijkmatig en wisselend zwartniveau worden bij kleurentelevisie opvallend hinderlijk, doordat dergelijke stoorsignalen voor de drie kleuren niet identiek zijn en dus kleuronzuiverheden veroorzaken. Vooral indien de stoorsignalen nog afhankelijk zijn van temperatuur, focussering, bundelstroominstelling of bundelcentrering, wordt het afregelen van een kleurencamera zeer gecompliceerd. De geringe donkerstroom van het „Plumbicon" is hier van grote betekenis gebleken en heeft iedere vorm van zwartniveaucorrectie („shading") overbodig gemaakt. De helderheidsomvang die met behoud van de goede kleurweergave kan worden verwerkt, is daardoor aanzienlijk vergroot. Ook de gelijkmatigheid van de gevoeligheid over het beeldvlak is van belang. Onderlinge verschillen in plaatselijke gevoeligheid tussen de verschillende opneembuizen geven kleurverschuivingen, die vooral storend zichtbaar worden in scènes met egale achtergrond.

De gevoeligheid van een kleurentelevisiecamera, die uiteraard geringer zal zijn dan bij een zwart-witcamera, is van primair belang, want het verhogen van de verlichtingssterkte in studio's heeft vele consequenties, o.a. ook bouwkundige en economische (b.v. door vereiste air-conditioning). De gevoeligheid wordt in de volgende paragraaf afzonderlijk besproken, het „Plumbicon" blijkt hier een goed figuur te slaan.

Verder spreekt het bijna vanzelf dat de voordelen van de geringe afmetingen en het kleinere beeldformaat, die opneembuizen van het vidicontype bezitten boven beeldorthicons, bij de constructie van een kleurencamera aanmerkelijk zwaarder wegen dan bij zwart-wit-studiocamera's.

Behalve alle bovengenoemde factoren komt bij toepassing van een type opneembuis in een kleurencamera nog een zeer belangrijke, misschien zelfs bepalende eis naar voren. De drie kleurbeelden, opgenomen met drie opneembuizen, moeten geometrisch exact aan elkaar gelijk zijn. Niet elkaar dekkende kleurbeelden (dekkingsfouten) geven aanleiding tot storende gekleurde randen in het weergegeven beeld. Niet alleen de kwaliteit van het kleurenbeeld is daarbij in het geding, maar ook de invloed op het zwart-witbeeld, dat wegens de eis van compatibiliteit van de kleurenuitzending moet kunnen worden ontvangen. Het zal zonder meer duidelijk zijn dat dekkingsfouten de scherpte van het zwart-witbeeld, verkregen op een zwart-witontvanger, zullen benadelen, doordat in het kleurenoverbrengingssysteem het zwart-witbeeld uit de drie kleurbeelden wordt opgebouwd. Het nauwkeurig tot dekking brengen van de drie kleurbeelden blijkt met „Plumbicon" buizen geen grote moeilijkheden op te leveren.

Al deze factoren samen maken het gebruik van het „Plumbicon" in kleurencamera's bijzonder aantrekkelijk. Reeds enkele jaren geleden zijn in het Philipslaboratorium te Eindhoven kleurentelevisiecamera's gebouwd waarin het „Plumbicon" werd toegepast. Hiermee zijn zeer goede resultaten verkregen en er werd praktisch aangetoond dat in het bijzonder bij gebruik voor kleurentelevisie het „Plumbicon" zeer grote voordelen biedt.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Gevoeligheid van een kleurentelevisiecamera

Evenals bij zwart-wittelevisie wordt ook bij kleurentelevisie de gevoeligheid in hoge mate bepaald door de signaal-ruisverhouding. Bij kleurentelevisie echter onderscheidt men helderheidsruis en kleurruis. Zoals de naam zegt, heeft helderheidsruis uitsluitend betrekking op de fluctuaties in de totale luminantie (d.i. de som van de luminanties der drie grondkleuren in het weergegeven beeld), terwijl kleurruis betrekking heeft op fluctuaties in de kleursoort.

De ervaring leert dat gemiddeld over een groot aantal scènes de helderheidsruis bepalend is.

Ter vergelijking met de ruis in zwart-wittelevisie denken we ons een scène opgenomen met een zwart-witcamera en een kleurencamera, beide uitgerust met „Plumbicon" buizen en voorzien van identieke lenzen.

Voor een wit vlak leveren de drie opneembuizen signalen die resp. een fractie f_R, f_G en f_B bedragen van het signaal van de buis in de zwart-witcamera. De waarden voor f_R, f_G en f_B zijn afhankelijk van het lichtsplitsingssysteem, van de spectrale gevoeligheidsverdeling van het „Plumbicon" en van de kleurtemperatuur van de lichtbronnen waarmee de scène wordt verlicht.

De spectrale gevoeligheidsverdeling voor de drie kleurkanalen is in *fig. 8* weergegeven. Daarin zijn getekend de nagestreefde relatieve spectrale gevoeligheidsverdelingen voor optimale kleurweergave, alsmede de relatieve verdelingen die praktisch gerealiseerd zijn. Bij gebruik van het standaardtype „Plumbicon" en een kleurtemperatuur van 3200 °K voor de lichtbron bedragen f_R, f_G, f_B respectievelijk ongeveer 8, 20 en 12%. Wij kunnen in deze beschouwing de gamma-correctie verwaarlozen en voor het eenvoudige lineaire geval uitgaan van een helderheidssignaal E_y waarvoor geldt:

$$E_y = 0{,}3\,E_R + 0{,}6\,E_G + 0{,}1\,E_B.$$

De kleursignalen worden zodanig versterkt dat voor wit geldt:

$$E_R = E_G = E_B = E_y.$$

De verschillen tussen f_R, f_G en f_B leiden tot verschillende versterkingsfactoren, en voor de effectieve waarde van de ruis geldt derhalve:

$$N_y = N\sqrt{\left(\frac{0{,}3}{f_R}\right)^2 + \left(\frac{0{,}6}{f_G}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{f_B}\right)^2}.$$

N_y wordt dus ongeveer $5N$, met andere woorden voor een zelfde signaal-ruisverhouding moet de verlichtingssterkte voor een kleurencamera 5× hoger zijn dan voor een zwart-witcamera.

Uiteraard is voor gekleurde scène-elementen de zaak gecompliceerder, doch zolang de kleuren niet sterk verzadigd zijn en met name geen grote vlakken van zeer verzadigd rood voorkomen, geeft de genoemde factor 5 een juiste indruk, die met de praktijk overeenkomt.

Uit het feit dat $f_G = 20\%$ en dat een 5× hogere verlichtingssterkte wordt vereist, volgt — min of meer toevallig — dat de „groene" opneembuis in hetzelfde werkpunt wordt ingesteld als eerder is bepaald voor een zwart-witcamera. Is ruim voldoende licht beschikbaar, zoals bij buitenopnamen veelal het geval is, dan kan door toepassing van correctiefilters worden bereikt dat alle drie de opneembuizen in het optimale werkpunt worden ingesteld. In dat geval is 12 à 15× zoveel licht nodig als voor een zwart-witcamera, maar N_y wordt nu kleiner dan N:

$$N_y = N\sqrt{0{,}3^2 + 0{,}6^2 + 0{,}1^2} = 0{,}68\,N.$$

Onder die condities is dus, bij optimale werkpuntinstelling, de signaal-ruisverhouding in het helderheidssignaal 4 dB beter dan bij optimale instelling van een zwart-witcamera wordt bereikt.

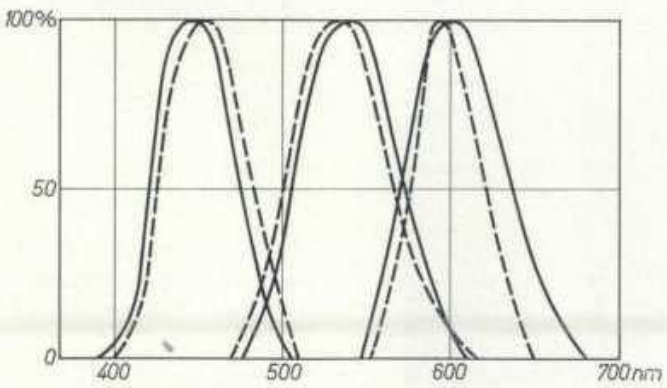


Fig. 8. Relatieve spectrale gevoeligheidsverdeling van de drie kleurkanalen in een kleurentelevisiecamera met „Plumbicon" buizen. De getrokken lijnen geven uit de theorie afgeleide krommen die met bepaalde onderstellingen een zo goed mogelijke weergave van de meeste kleuren leveren. De gestippelde lijnen zijn gemeten krommen die als een optimaal compromis mogen worden beschouwd. De begrenzing bij grotere golflengten in het rode kanaal wordt veroorzaakt door de beperkte roodgevoeligheid van het „Plumbicon". Deze begrenzing zou door gebruik van een „Plumbicon" met verhoogde roodgevoeligheid kunnen worden opgeheven [11].

Kleurentelevisiecamera met beeldorthicons

Afgezien van het feit dat een kleurentelevisiecamera waarin beeldorthicons worden toegepast, door de grootte van de buizen enorme afmetingen krijgt en het optische systeem hierin zeer gecompliceerd wordt, zijn twee factoren van belang.

[10] Zie voor algemene begrippen: F. W. de Vrijer, Grondslagen van de kleurentelevisie, Philips techn. T. **19**, 80-91, 1957.

[11] E. F. de Haan, F. M. Klaassen en P. P. M. Schampers, Een experimentele „Plumbicon" opneembuis met verhoogde gevoeligheid voor rood licht, Philips techn. T. **26**, 55-57, 1964/65 (no. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In de eerste plaats kunnen de beeldorthicons niet tot in de knie van de signaal-lichtkarakteristiek worden uitgestuurd, aangezien de karakteristiek daar minder goed gedefinieerd is. Daardoor gaat de signaal-ruisverhouding alsook de scherpte achteruit. In de tweede plaats moet men de beeldorthicons, om een goede kleurbalans te verkrijgen, in de drie kleurkanalen nauwkeurig in hetzelfde werkpunt instellen, hetgeen betekent dat de waarden f_R, f_G en f_B gelijk gemaakt worden en geen betere waarde hiervoor dan 8-10% wordt bereikt, zodat een dergelijke camera dus 10 tot 12 maal ongevoeliger is en minder gunstig moet worden ingesteld dan een zwart-witcamera waarin een zelfde type beeldorthicon wordt toegepast.

In de praktijk zijn dergelijke kleurentelevisiecamera's, waarbij bovendien ter beperking van de dekkingsfouten extreme eisen gesteld worden aan de precisie van de buisconstructie en aan de stabiliteit van de regelspanningen, een weinig aantrekkelijke propositie gebleken. Men heeft getracht de moeilijkheden te ontlopen door over te gaan tot uitvoeringsvormen van kleurencamera's met *vier* opneembuizen, waarbij de vierde buis alleen het helderheidssignaal levert [12].

Een kleurentelevisiecamera uitgerust met „Plumbicon" buizen

De titelfoto van dit artikel toont een afbeelding van een kleurentelevisiecamera met „Plumbicon" buizen die thans wordt geproduceerd. Het kleurscheidingssysteem is opgebouwd uit prisma's (*fig. 9*), op een wijze die eerder in dit tijdschrift uitvoerig is beschreven [13]. Een dergelijk kleurscheidingssysteem heeft verschillende optische voordelen en maakt een zeer compacte bouw van de kleurentelevisiecamera mogelijk. De camera is uitgerust met een lens met variabele brandpuntsafstand, waarvan alle instellingen (focussering, brandpuntsinstelling en diafragmaregeling) met servosystemen geschieden. De brandpuntsafstand kan variëren van 18 tot 180 mm, bij een maximale openingsverhouding van 1:2,2. De lens is optisch gecorrigeerd voor

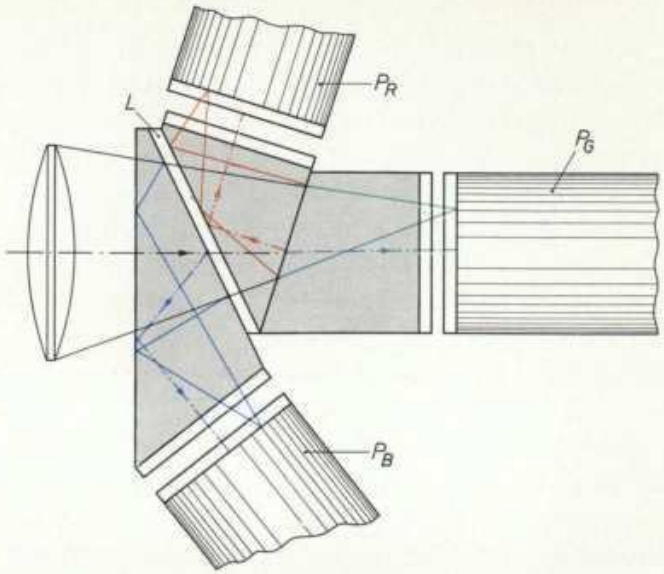


Fig. 9. Principe van een kleurscheidend prismastelsel in de stralengang van een lens [13]. Het licht treedt het eerste prisma binnen en komt op een laag die de *blauwe* component van het licht selectief reflecteert. De hoek van dit vlak ten opzichte van de optische as is zo gekozen dat voor alle gereflecteerde stralen aan het eerste prismavlak totale reflexie optreedt; de blauwe component van het licht wordt aldus naar beneden gereflecteerd, naar het „blauwe" „Plumbicon" P_B. Een tweede laag, die de *rode* component van het licht selectief reflecteert, is tussen het tweede en het derde prisma gekit. Dit rode licht wordt, wederom door een juiste keuze van de hoeken, via totale reflexie voor een tweede maal gereflecteerd aan een glas-luchtovergang die zich tussen het eerste en tweede prismadeel bevindt (*L* is een luchtspleet), en bereikt aldus het „rode" „Plumbicon" P_R. De *groene* component van het licht gaat rechtdoor en levert de afbeelding op het „groene" „Plumbicon" P_G. Speciale correctiefilters zorgen in ieder kanaal voor de optimale spectrale doorlaatkrommen.

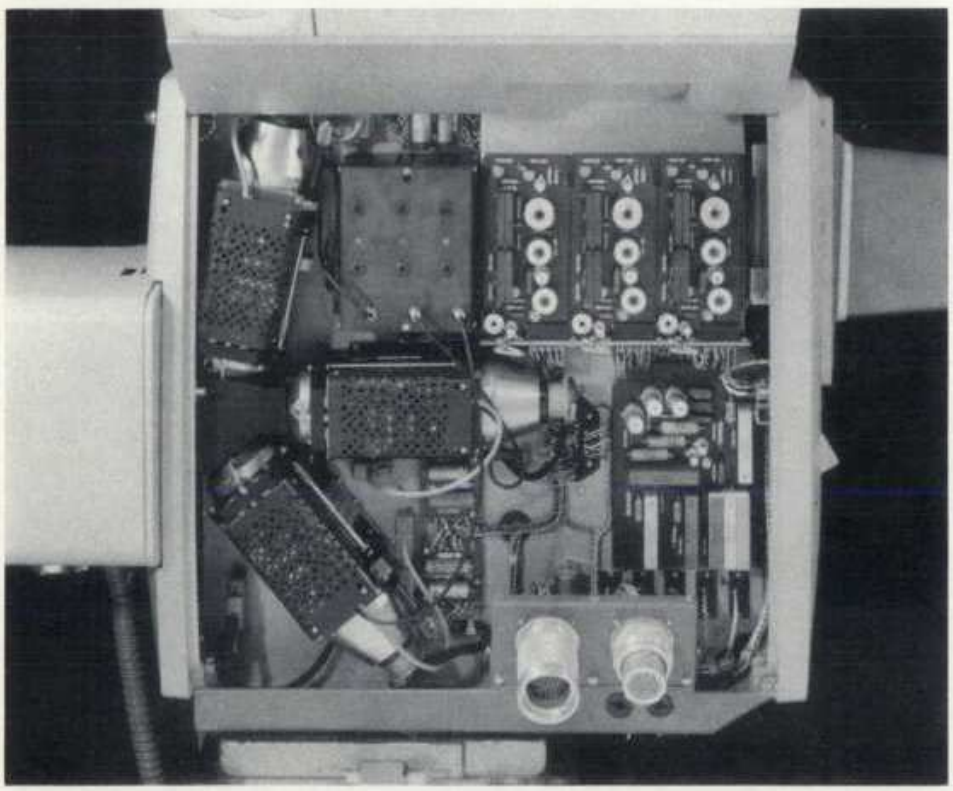


Fig. 10. Een kleurentelevisiecamera met „Plumbicon" buizen, geopend. Rondom het kleurscheidend prismasysteem zijn drie identieke, instelbare, eenheden opgesteld. Iedere eenheid bevat een „Plumbicon" opneembuis met bijbehorende focusseer- en afbuigspoel en magnetische afscherming, alsmede een signaalversterker. Deze zijde van de camera bevat tevens de schakelingen voor de horizontale afbuiging.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het prismasysteem dat zich in de stralengang bevindt. Bij een andere thans beschikbare lens is zelfs een variatie van 50 tot 600 mm brandpuntsafstand mogelijk.

De compacte bouw wordt ook geïllustreerd door *fig. 10*. De opstelling van de drie „Plumbicon" buizen in een verticaal vlak is enigszins ongewoon, deze is bepaald door het kleurscheidingssysteem. Bij een dergelijke opstelling moet grote aandacht worden besteed aan de magnetische afscherming, om te voorkomen dat storende magnetische velden tot de opneembuizen doordringen en daardoor de onderlinge geometrie en de precisie van de dekking verstoren.

Een indruk van de gevoeligheid van een dergelijke camera met „Plumbicon" buizen wordt het best verkregen uit onderstaande tabel, waarin de omstandigheden van een normale scène, de daarbij toe te passen instellingen en de verkregen signaal-ruisverhouding zijn vermeld:

verlichtingssterkte	1500 lux
reflexiecoëfficiënt (van wit in de scène)	60%
kleurtemperatuur van de verlichting	3200 °K
diafragma-instelling	1 : 2,8
vlekcorrectie	6 dB bij 5 MHz
gammacorrectie	$\gamma = 0{,}5$ in een gebied 1 : 40
genormeerde signaal-ruisverhouding in het helderheidssignaal	42 dB
signaal-ruisverhouding (bepaald met ruiswaarderingsfilter)	50 dB

Bij volle lensopening en uitgeschakelde vlekcorrectie kunnen echter nog natuurlijke kleurenbeelden gemaakt worden bij een verlichtingssterkte van 200-250 lux met een nog acceptabele signaal-ruisverhouding in het helderheidssignaal.

[12] W. Dillenburger, Gesichtspunkte für die Entwicklung einer Farbfernsehkamera, Radio Mentor **30**, 974-981, 1964.
[13] H. de Lang en G. Bouwhuis, De kleurscheiding in kleurentelevisiecamera's, Philips techn. T. **24**, 261-269, 1962.

Samenvatting. Doordat het „Plumbicon" vrij is van de nadelen van het Sb_2S_3-vidicon (hinderlijke traagheid en storende donkerstroom), komt deze buis in aanmerking voor gebruik in de studio. Om de verkregen beeldkwaliteit te vergelijken met die welke de tot dusverre gebruikte beeldorthicons leveren, moet rekening worden gehouden met scherpte, gradatie, helderheidsomvang, signaal-ruisverhouding, vlakheid enz. Een aantal voorwaarden voor een zinvolle vergelijking worden besproken (vereiste brandpuntsafstand en diameter van het objectief, keuze van werkpunt op de buiskarakteristiek, meting van de ruis met een ruiswaarderingsfilter). Een nadere beschouwing van de signaal-lichtkarakteristieken der verschillende buistypes leert dat door omhoogschuiven van het werkpunt bij het „Plumbicon" de signaal-ruisverhouding verbeterd kan worden, maar er is een veiligheidsmarge vereist tegen „overbelichting" door glimlichten. Eisen we een signaal-ruisverhouding van 40 dB (voor vlakke ruis), een waarde die met de beste beeldorthicons nauwelijks bereikbaar is, dan moet, rekening houdende met de vlekcorrectie en de bij het „Plumbicon" gewenste gammacorrectie, het werkpunt gelegd worden bij een signaalstroom van 0,25 μA (en door lichtregeling daar gehandhaafd). De gevoeligheid is dan vergelijkbaar met die van de beste 3″-beeldorthicons. Het 4½″-beeldorthicon is minder gevoelig, levert echter scherpere beelden. De gradatie kan bij een camera met „Plumbicon" meestal beter worden gemaakt dan bij gebruik van een beeldorthicon. Voor kleurentelevisiecamera's is het „Plumbicon" bijzonder geschikt, niet alleen door de geringe afmetingen en het kleine beeldformaat, maar ook doordat zijn karakteristiek niet afhangt van de verlichtingssterkte op de laag of van de gemiddelde beeldhelderheid, en doordat het vermijden van hinderlijke dekkingsfouten der drie kleurbeelden hier niet erg moeilijk is. De gevoeligheid is zodanig dat een kleurencamera met „Plumbicon" buizen een normale scène goed kan opnemen met een verlichtingssterkte van 1500 lux (de genormeerde signaal-ruisverhouding in het helderheidssignaal is dan 42 dB) en nog acceptabele beelden kan leveren bij 200-250 lux

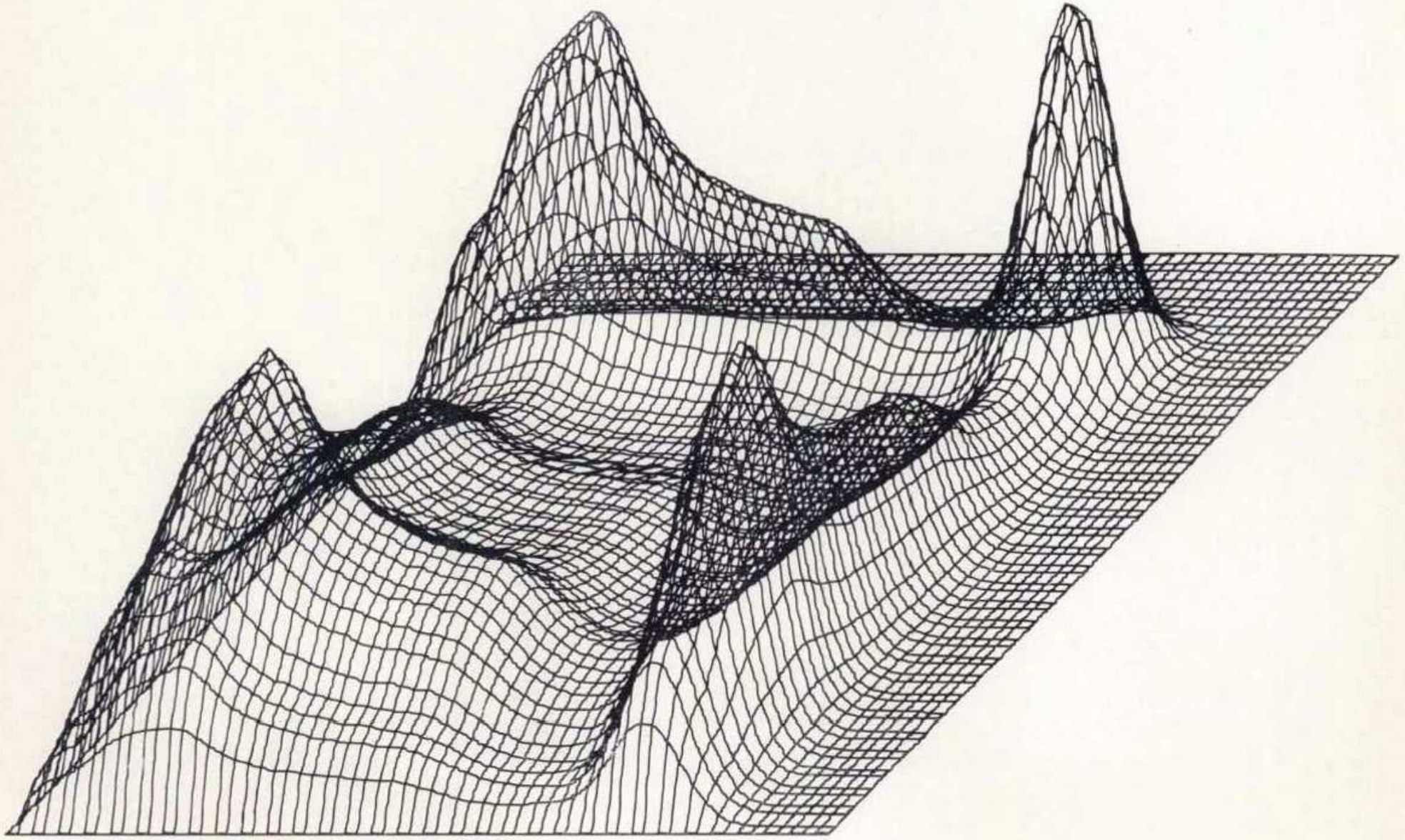
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

Afbeeldingen van driedimensionele energiespectra

539.16.08



Digitized in Heiloo the Netherlands

Not for sale!

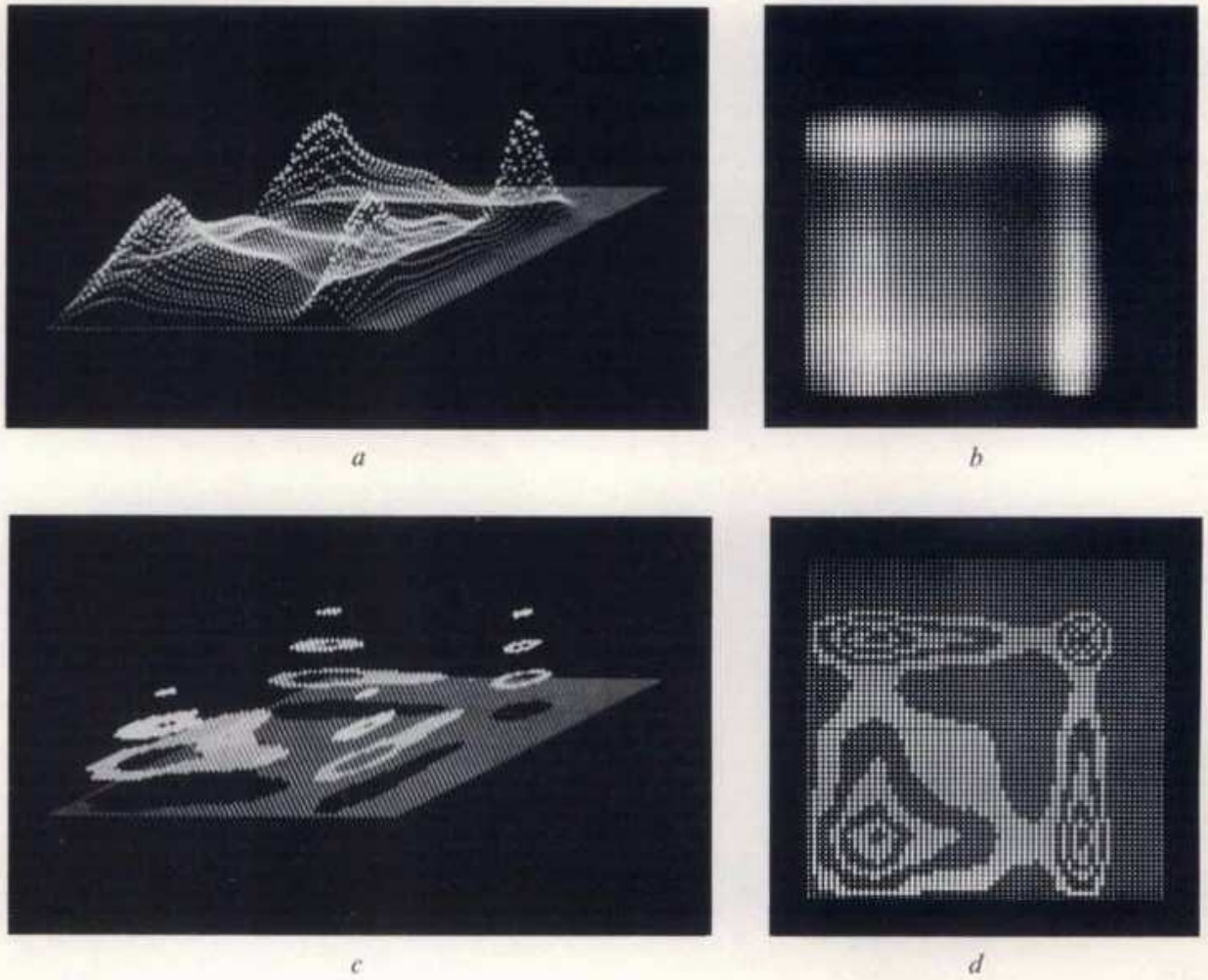
www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

De op deze bladzijden getoonde beelden zijn afkomstig van een 4096-kanaals impulshoogte-analysator (kicksorter) die in het Philipslaboratorium te Eindhoven voor experimentele doeleinden is gebouwd. Ze geven een impulshoogte-spectrum weer waarbij *twee* onafhankelijk variabelen optreden.

Impulshoogte-analysatoren worden voornamelijk gebruikt voor het meten van radioactieve straling, in het bijzonder voor het opnemen van energiespectra. De straling geeft in een detector aanleiding tot impulsen, waarvan de hoogte een maat is voor de energie van het desbetreffende quantum of deeltje; het aantal impulsen per tijdseenheid is een maat voor de intensiteit van de straling. De impulsen worden in de analysator gemeten en gesorteerd naar hoogte; de aantallen impulsen in de verschillende hoogte-intervallen (kanalen) worden opgeteld, en het resultaat wordt opgeslagen in een geheugen. Het spectrum kan nu zichtbaar worden gemaakt en het blijft beschikbaar voor verdere verwerking.

Voor verschillende toepassingen wil men spectra als functie van *twee* variabelen registreren. De tweede variabele kan b.v. de energie zijn van een ander, door dezelfde bron uitgezonden deeltje, dat in een tweede detector wordt opgevangen; de deeltjes worden b.v. alleen dan geregistreerd als ze coïncident zijn, dit voor het bepalen van energieniveaus en stralingsovergangen van het nuclide. De tweede variabele kan ook een hoek zijn; de straling van een bron wordt dan in verschillende richtingen gemeten.



a *b*

c *d*

Voor het weergeven van een functie van twee variabelen moet een driedimensionele figuur worden afgebeeld in een plat vlak. Dit kan op verschillende wijzen gebeuren. De „perspectivische" tekening is gemaakt met een *x*-*y*-schrijver. De foto's zijn rechtstreeks van een oscilloscoopbuis gemaakt; (*a*) is weer een perspectivisch beeld van het spectrum, (*b*) een bovenaanzicht, waarbij de hoogte is weergegeven door modulatie van de intensiteit. (*c*) is hetzelfde als (*a*), maar hier zijn van de getallen die in het geheugen staan slechts enkele significante (binaire) cijfers weergegeven; hierdoor krijgt het spectrum een trapvormig aanzien. In het bovenaanzicht (*d*) is dit zelfde procédé toegepast; de opvolgende trappen zijn nu afwisselend licht en donker weergegeven. In deze laatste figuur kan men de plaats van de pieken in het spectrum nauwkeurig opmeten.

F. Bregman

Ir. F. Bregman is medewerker van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands

Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De schuifspoel, een regelorgaan bij hoogfrequentverhitting

K. H. Lopitzsch

621.365.5-533.66

Bij hoogfrequentverhitting moet in de meeste gevallen het aan het werkstuk toegevoerde vermogen kunnen worden ingesteld. De schrijver wijst in dit artikel op de voordelen van een instelling door variatie van de aanpassing tussen generator en werkspoel. Hij beschrijft een constructie voor deze aanpassingsregeling die geschikt is voor vermogens tot enkele honderden kW en die weinig ruimte vergt.

Generatoren voor hoogfrequentverhitting

Een generator voor hoogfrequentverhitting is in wezen een frequentieomzetter, die vermogen uit het 50-Hz-elektriciteitsnet opneemt en bij een hogere frequentie aan het te verhitten werkstuk toevoert. Men onderscheidt *inductieve verhitting*, waarbij in een stof wervelstromen worden opgewekt doordat deze in het magnetische wisselveld van een spoel is geplaatst, en *capacitieve verhitting*, waarbij een stof zich in een elektrisch wisselveld bevindt, zodat verhitting optreedt door diëlektrische verliezen [1]. In het eerstgenoemde geval worden tegenwoordig frequenties van ongeveer 100 kHz tot 10 MHz gebruikt, terwijl de in het tweede geval toegepaste frequenties in het gebied van 5 tot 100 MHz liggen. De nadere keuze van de frequentie hangt o.a. af van de afmetingen en eigenschappen van de werkstukken en van de gewenste verdeling van de opgewekte warmte.

Het vermogen dat de hoogfrequentgenerator moet leveren hangt af van de grootte en de thermische eigenschappen der te behandelen werkstukken, alsmede van de gewenste temperatuur en van de snelheid waarmee deze moet worden bereikt. Voor sommige doeleinden kan men volstaan met een vermogen van minder dan 1 kW; in de industrie komen echter ook generatoren voor die een vermogen van enkele honderden kW leveren.

Een generator voor hoogfrequentverhitting bevat een oscillator waarin meestal een of meer speciaal voor industriële toepassing ontwikkelde buizen worden gebruikt [2], alsmede een hoogspanningstransformator en -gelijkrichter waarmee de voedingsspanning uit het elektriciteitsnet wordt verkregen. Bij de inductieve verhitting, waarmede wij ons in het hierna volgende uitsluitend bezighouden, wordt de koppeling tussen de spoel waarin zich het werkstuk bevindt — de *werkspoel* — en de oscillatorkring gewoonlijk teweeggebracht via een hoogfrequenttransformator. Wil men nl. de in het werkstuk geïnduceerde wervelstromen en dus ook de ontwikkelde warmte op een relatief klein gebied concentreren, dan moet men de werkspoel ook klein maken, waardoor deze een kleine zelfinductie krijgt. Voor de aanpassing tussen werkspoel en generator, die nodig is voor een gunstige vermogensoverbrenging, is dan een impedantietransformatie nodig. De daartoe dienende hoogfrequenttransformator bestaat uit een combinatie van de oscillatorspoel en een secundaire spoel met een klein aantal windingen (meestal slechts één), waarop de werkspoel wordt aangesloten.

In *fig. 1* zijn de verschillende genoemde delen van een installatie voor inductieve hoogfrequentverhitting in een blokschema weergegeven.

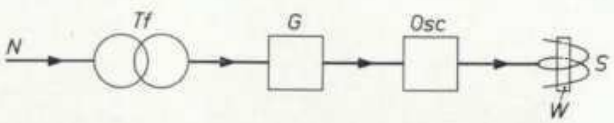


Fig. 1. Blokschema van een installatie voor inductieve hoogfrequentverhitting. *N* aansluiting aan het net. *Tf* hoogspanningstransformator. *G* gelijkrichter. *Osc* oscillator. *S* werkspoel. *W* werkstuk.

Instelling van het vermogen

Bij hoogfrequentverhitting is het vrijwel altijd nodig het aan het werkstuk toegevoerde vermogen te kunnen wijzigen. Deze noodzaak doet zich niet alleen voor wanneer men overgaat op werkstukken van andere grootte of vorm, doch ook tijdens de behandeling van een enkel werkstuk kan een verandering van het vermogen noodzakelijk zijn. Zo is voor het smelten van een hoeveelheid stof een groter vermogen nodig dan voor het in gesmolten toestand houden hiervan. Ook komt het voor dat tijdens een warmtebehandeling de eigenschappen van het werkstuk sterk veranderen (b.v. als bij een ferromagnetische stof het curiepunt wordt gepasseerd) of dat men een werkstuk een warmtebehandeling volgens een bepaald programma wil laten ondergaan. Het door de generator geleverde

Ir. K. H. Lopitzsch is medewerker van Philips' Hoofdindustriegroep Produkten voor Industriële Toepassing, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

vermogen moet in al deze gevallen, en soms tamelijk snel, regelbaar zijn.

Er bestaan allerlei methodes om het vermogen dat de oscillator aan de belasting (de werkspoel) levert, te variëren. Men kan hiervoor maatregelen nemen aan de netspanningszijde van de hoogspanningstransformator, in de gelijkrichter of in de oscillator. Is de belasting aan de generator *aangepast*, dan kan bij deze instelmethodes het vermogen worden opgevoerd tot de maximale waarde die de generator uit hoofde van zijn dimensionering kan leveren. In de meeste gevallen is echter de belasting niet, of slechts bij benadering, aan de generator aangepast. Immers, voor een juiste aanpassing zou men bij iedere verandering van de grootte of de materiaaleigenschappen van de werkstukken een andere, geschikt gedimensioneerde werkspoel moeten gebruiken. Op deze manier is slechts een wijziging van de aanpassing in stappen mogelijk, terwijl een wijziging bij een in werking zijnde installatie in het geheel niet uitvoerbaar is. Bij een niet juist aangepaste belasting kan de generator *niet* zijn maximale vermogen leveren en hierin kan door de bovengenoemde instelmethodes geen verandering worden gebracht. Om bij vrij sterk uiteenlopende belasting toch telkens tot dit maximale vermogen te kunnen gaan, en om bij het maken van de werkspoelen meer vrijheid te hebben, is men aangewezen op een methode die de mate van *aanpassing* tussen generator en belasting varieert.

In *fig. 2* zijn enkele methodes voor een dergelijke aanpassingsregeling aangegeven, nl. variaties van de capaciteit van de oscillatorkring (1), van de aansluiting van de oscillatorbuis op de kring (2), van de zelfinductie van de oscillatorspoel (3), van de wederzijdse inductie tussen de spoelen van de hoogfrequenttransformator (4), van de zelfinductie van de secundaire spoel (5), van de zelfinductie van een spoel die in serie met de werkspoel is geschakeld (6) en van de zelfinductie van een spoel die parallel met de werkspoel is geschakeld (7). Ook combinaties van verschillende van deze methodes worden toegepast.

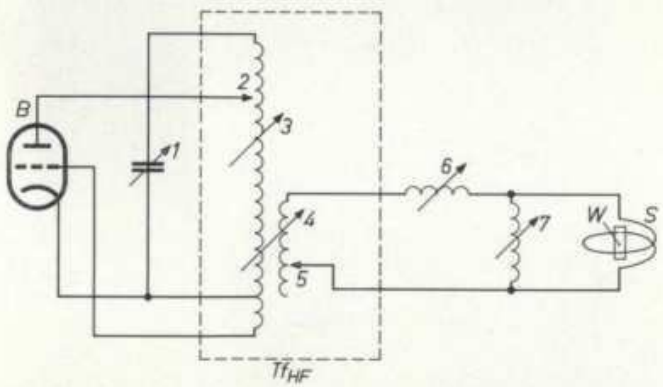


Fig. 2. Principeschema van een generator voor inductieve hoogfrequentverhitting waarin enkele methodes zijn aangegeven voor instelling van het vermogen. *B* oscillatorbuis. Tf_{HF} hoogfrequenttransformator. *S* werkspoel. *W* werkstuk.

Bij generatoren die een groot vermogen moeten leveren, is het niet te vermijden dat de variabele elementen die bij deze instelmethodes nodig zijn, grote afmetingen krijgen; zij dienen immers te functioneren bij hoge spanningen en sterke stromen met een hoge frequentie, waardoor afstanden van onderdelen en doorsneden van geleiders groot moeten zijn en ook maatregelen voor koeling genomen moeten worden. Speciaal geldt dit voor een variabele koppeling tussen de beide spoelen van de hoogfrequenttransformator (4), die wegens het hiermede verkrijgbare grote instelgebied vaak wordt toegepast [3]. Ten behoeve van een der vele gevallen waarin beperkte afmetingen van de generator gewenst zijn, hebben wij een oplossing van het type (6) uitgewerkt: een variabele spoel in serie met de werkspoel. Hierbij kon, dank zij een nogal ongewone constructie, bij relatief geringe afmetingen een voldoend groot instelgebied worden verkregen. Wij willen deze oplossing hier in het kort beschrijven.

Het betrof een installatie voor het lassen van de langsnaad van metalen pijpen. Overgang tot hoogfrequentlassen bleek hier grote voordelen te bieden, voornamelijk door de afwezigheid van contacten die bij het vroeger toegepaste weerstandslassen nodig waren.

Door het grote vereiste vermogen (tot 100 kW) was de generator zo groot dat deze moest worden opgesteld op enige afstand van de walsmachine die de metalen band tot een pijp vormt. De leiding van de hoogfrequenttransformator naar de werkspoel moest echter uiterst kort worden gehouden, omdat anders bij de sterke vereiste stroom (in het onderhavige geval tot 1600 A) hierin een ontoelaatbaar energieverlies en inductief spanningsverlies zouden optreden. Om deze leiding niet te lang te maken, hebben wij het hoogfrequentgedeelte in twee delen gesplitst: de hoogfrequenttransformator is in een afzonderlijke kast vlak bij de walsmachine geplaatst. In deze kast is verder de variabele spoel ondergebracht die in serie met de werkspoel is geschakeld.

Een *serie*spoel is te verkiezen boven een spoel *parallel* met de werkspoel, omdat in het eerstgenoemde geval minder energieverlies optreedt wanneer het vermogen sterk moet worden gereduceerd. Als men dit wil bereiken met een parallelspoel, moet deze op een zeer kleine zelfinductie worden ingesteld, waardoor de hoogfrequenttransformator een zeer grote stroom moet leveren; bij een seriespoel is het juist omgekeerd.

[1] Zie hierover b.v. Philips techn. T. **11**, 165-175 en 236-243, 1949.

[2] Zie E. G. Dorgelo, Zendbuizen voor gebruik in de industrie, Philips techn. T. **20**, 241-247, 1958.

[3] Men maakt hiertoe doorgaans de beide spoelen van de hoogfrequenttransformator ten opzichte van elkaar verschuifbaar, waarvoor veel ruimte vergende mechanische voorzieningen getroffen moeten worden. Iets minder ruimte vragen sferische spoelen die ten opzichte van elkaar draaibaar zijn, doch deze oplossing is constructief veel moeilijker.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De constructie van de regelspoel

De frequentie van de stroom waarmee het pijplassen geschiedt (ongeveer 0,5 MHz) is zo hoog dat de regelspoel niet uit een aantal windingen behoeft te bestaan; men kan volstaan met één winding, en daarvan kan men de zelfinductie regelbaar maken door ze uit te voeren als twee parallel opgestelde geleiders met een verschuifbare kortsluitbrug. Deze constructie, die nauwelijks aan een „spoel" doet denken, heeft in het spraakgebruik de naam *schuifspoel* gekregen. Om met een beperkte weg van de kortsluitbrug een zo groot mogelijke relatieve variatie van de zelfinductie te verkrijgen, moet de afstand van de geleiders klein gemaakt worden. Hierdoor wint men nl. veel aan de zijde van de kleinste bereikbare zelfinductie, die in hoofdzaak wordt bepaald door de lengte van de kortsluitbrug, en men verliest weinig aan de zijde van de grootste bereikbare waarde, daar deze met toenemende afstand tussen de geleiders toch niet sterk toeneemt.

Voor de zelfinductie van twee parallel opgestelde ronde geleiders met diameter d, afstand D en lengte l (zie *fig. 3*) geldt de formule:

$$L = k_1 l \,(\, k_2 \log 2D/d - D/l \,).$$

Hierin zijn k_1 en k_2 twee constanten. Bij constante waarden van d en l vertoont L als functie van D een verloop zoals globaal in *fig. 4* is geschetst. Men ziet dat bij toenemende waarde van D de waarde van L steeds minder toeneemt.

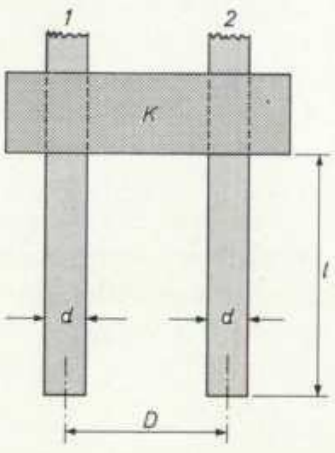


Fig. 3. De regel-„spoel" bestaat uit twee parallel opgestelde ronde geleiders, *1* en *2*, en een beweegbare kortsluitbrug *K*. Hierdoor vloeien stromen tot 1600 A met een frequentie van b.v. 0,5 MHz.

Door verticale opstelling van de beide geleiders in combinatie met een horizontaal geplaatste hoogfrequenttransformator is een constructie verkregen die slechts een gering grondoppervlak vergt. De verbindingen kunnen hierbij zo kort zijn dat bij de laagste stand van de kortsluitbrug de totale zelfinductie in serie met de werkspoel voldoende klein is. *Fig. 5* toont de opstelling, die gebruikt is bij generatoren in twee

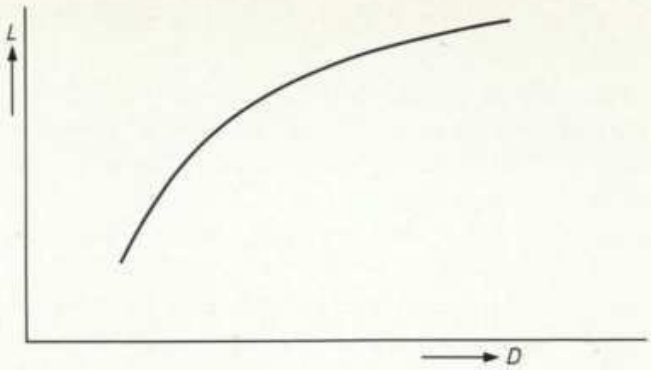


Fig. 4. Globaal verloop van de zelfinductie L van twee parallel opgestelde geleiders als functie van hun afstand D bij constante grootte van hun diameter d en hun lengte l.

verschillende uitvoeringen, nl. een met een vermogen van 50 kW en een frequentie van 0,5 MHz en een met een vermogen van 100 kW en een frequentie van 0,4 MHz. Met deze laatste kunnen b.v. pijpen met wanddiktes tot 4 mm en diameters tot 80 mm worden gelast met snelheden tot 20 m/min. Het vermogen moet wor-

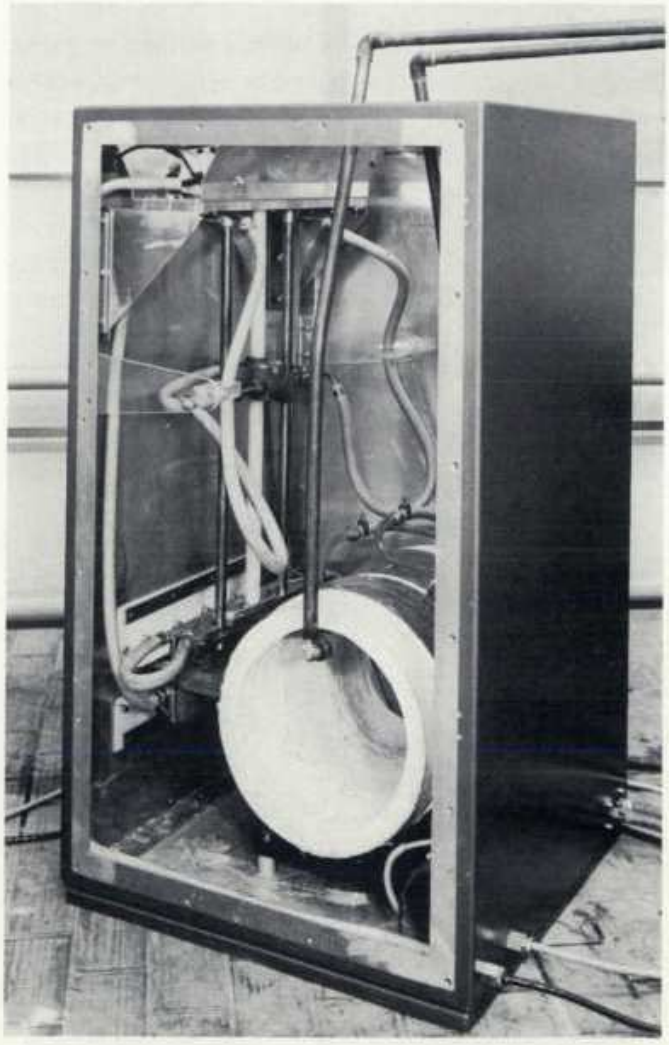


Fig. 5. Combinatie van een horizontaal geplaatste hoogfrequenttransformator en een verticaal geplaatste schuifspoel. Van de kast is een der wanden verwijderd. De verschillende slangen dienen voor toe- en afvoer van het koelwater. De kortsluitbrug wordt door een servomotor bewogen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

den gewijzigd bij het veranderen van diameter of materiaal van de pijpen, en verder bij het aanlopen van de machine en bij het optreden van netspanningsvariaties. Dank zij het toegepaste systeem van aanpassingsregeling behoeft de werkspoel hierbij niet te worden verwisseld.

De beide evenwijdige geleiders en de kortsluitbrug van de schuifspoel, waarin, zoals vermeld, stromen tot 1600 A vloeien, moeten met water worden gekoeld. In fig. 5 zijn de hiertoe dienende waterslangen zichtbaar.

Bij de constructie van de kortsluitbrug moet men er niet alleen rekening mee houden dat een goed contact met de geleiders gewaarborgd is, doch ook dat de aan de contacten ontwikkelde warmte gemakkelijk door het koelwater kan worden opgenomen. *Fig. 6* toont enkele details van de kortsluitbrug. De vier contactblokjes *4* rusten met platte vlakken op de met water gekoelde geleiders *1* en *2*. Ze zijn niet star bevestigd op de twee dwarsgeleiders *3*, doch hierop enigszins beweeglijk. Hierdoor is een lijnvormig contact gewaarborgd zonder dat zeer hoge eisen aan de

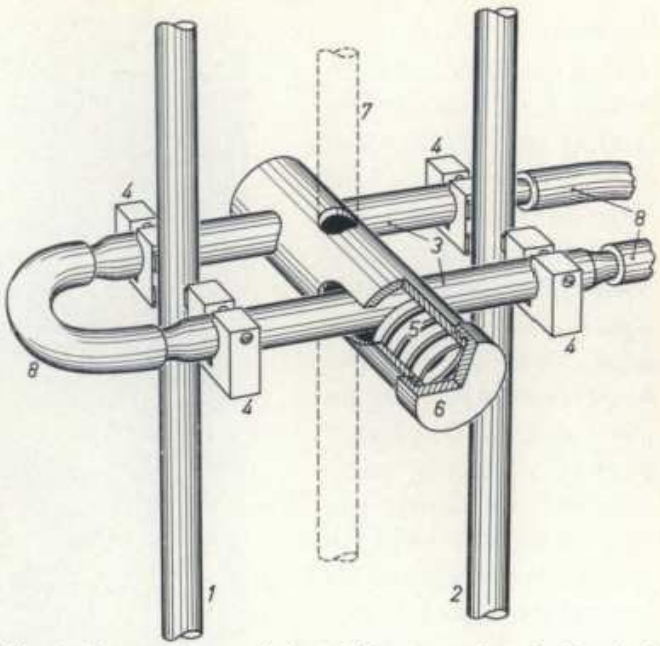


Fig. 6. Constructie van de kortsluitbrug van de schuifspoel. *1* en *2* geleiders die de „spoel" vormen. *3* geleiders van de kortsluitbrug. *4* contactblokjes. *5* veer, *6* dop voor het spannen van de veer. *7* stang voor het bewegen van de kortsluitbrug. *8* waterslangen.

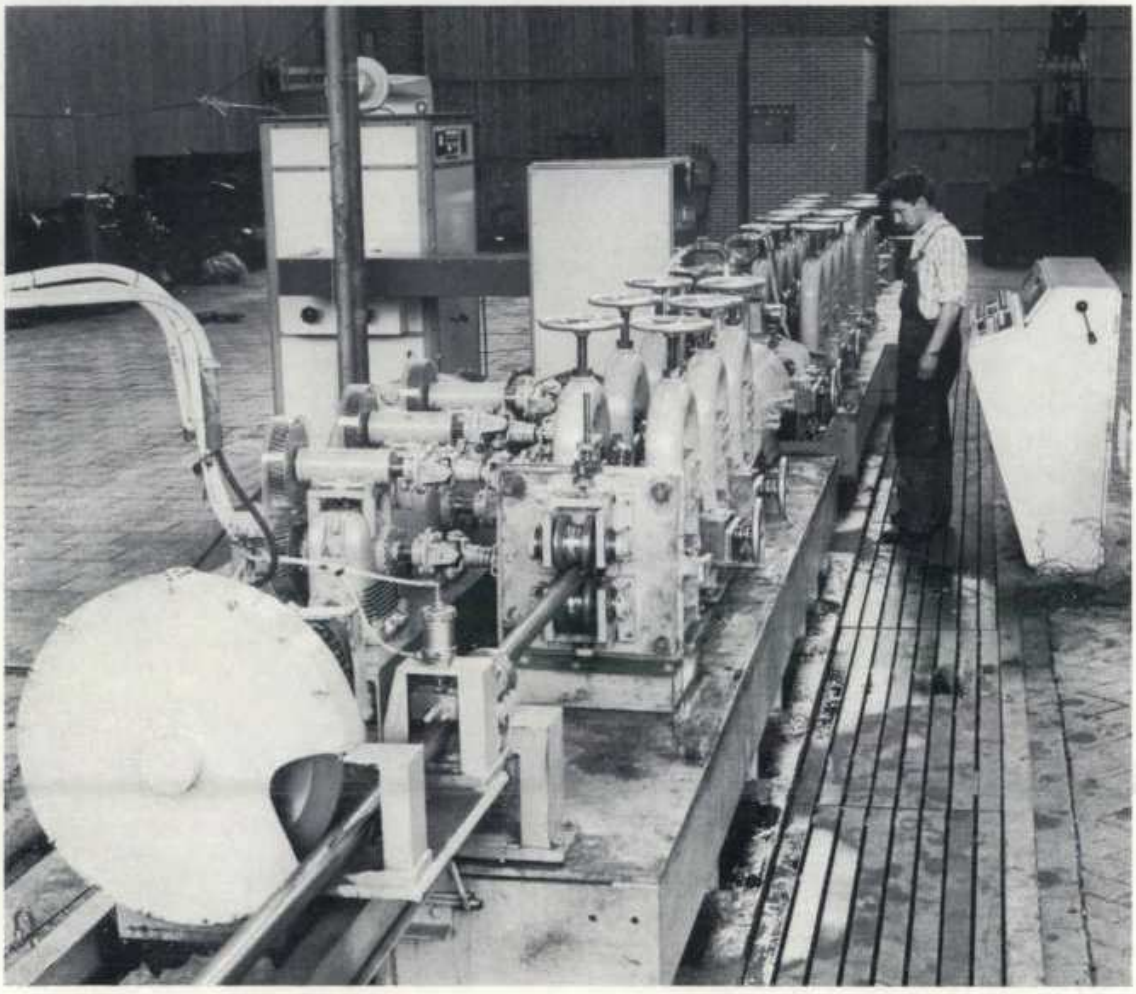


Fig. 7. Installatie voor de vervaardiging van metalen pijpen, waarbij de langsnaad wordt gelast door inductieve hoogfrequentverhitting. Links bevindt zich de kast met de generator, waarnaast, vlak bij de walsmachine, de kast is geplaatst die de hoogfrequenttransformator en de schuifspoel bevat. In de gemetselde ruimte op de achtergrond bevindt zich de voedingsapparatuur en geheel rechts de bedieningskast. Deze installatie kan een vermogen van 100 kW leveren. Op de voorgrond ziet men de gelaste pijp de walsmachine verlaten. Hij wordt hier door de meelopende zaag op de gewenste lengte afgesneden.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

rechtheid en aan de evenwijdige opstelling van de geleiders *1* en *2* worden gesteld. De contactdruk wordt geleverd door de veer *5*, die van staal kan worden vervaardigd doch dan elektrisch goed afgeschermd moet worden om verhitting door hierin geïnduceerde wervelstromen te voorkomen; met het oog hierop zijn ook veren van rubber toegepast. De contactvlakken van de blokjes zijn van een zilver-koperlegering, die een goede geleider is en harder is dan koper; hierdoor worden bij het bewegen van de kortsluitbrug eventuele oneffenheden langs het oppervlak van de koperen geleiders *1* en *2* verwijderd.

De in de schuifspoel optredende energieverliezen bedragen enkele procenten van het door de generator geleverde vermogen. Een opmerkelijke bijzonderheid is nog dat dit energieverlies vrijwel onafhankelijk is van de stand van de kortsluitbrug: bij het vergroten van de zelfinductie neemt weliswaar de lengte van het gebruikte gedeelte van de geleiders toe, doch de stroom neemt af.

Fig. 8. Detail van de apparatuur. Men ziet de werkspoel waardoor de te lassen pijp wordt gevoerd. De verhitte delen worden achter de spoel door twee rollen tegen elkaar gedrukt, waardoor het lassen plaatsvindt. De verhitting gebeurt als volgt. Ter plaatse van de werkspoel wordt in de buitenwand van de (nog niet gesloten) pijp een stroom geïnduceerd. De weg voor deze stroom is in hoofdzaak gesloten via twee parallel geschakelde takken, nl. enerzijds langs de binnenzijde van de pijp en anderzijds langs de nog openstaande randen en de lasplaats. Om te bevorderen dat het grootste deel van de stroom de laatstgenoemde weg volgt, is in de as van de werkspoel een ferrietkern geplaatst, die de zelfinductie voor de eerstgenoemde weg verhoogt. De houder van deze kern is in het nog niet gesloten deel van de pijp zichtbaar.

Een installatie voor het pijplassen die een vermogen van 100 kW kan leveren, is in *fig. 7* afgebeeld. *Fig. 8* toont een detailfoto waarop de werkspoel is te zien, benevens de beide walsrollen die de verhitte randen tegen elkaar drukken, waardoor de las wordt gevormd. Om de geïnduceerde stromen beter op de lasplaats te concentreren, is in de as van de werkspoel een kern van ferriet geplaatst, waarvan de houder in het nog niet gesloten deel van de buis zichtbaar is.

Behalve bij het pijplassen hebben schuifspoelen volgens het hier beschreven constructieprincipe toepassing gevonden in een installatie voor het zonesmelten van halfgeleiders en bij een generator voor plasma-verwarming. In dit laatste geval wordt de in de werkspoel geplaatste stof gevormd door een geïoniseerd gas (plasma). Dit is als een geleider te beschouwen, waarin het hoogfrequente wisselveld wervelstromen opwekt die het gas verwarmen. Men kan op deze wijze een warme gasbol of een brander verkrijgen waarvan de temperatuur zeer hoog kan worden opgevoerd.

Samenvatting. Bij een installatie voor hoogfrequentverhitting kan het vermogen dat aan de werkspoel wordt toegevoerd, op verschillende manieren worden gevarieerd. Bepaalde voordelen zijn verbonden aan methodes waarbij de mate van aanpassing van de werkspoel aan de generator wordt ingesteld. Een nadeel is echter dat bij grote vermogens hiervoor omvangrijke regelorganen nodig zijn. Relatief beperkte afmetingen blijkt een regelorgaan te hebben dat bestaat uit een variabele „spoel", die in serie met de werkspoel is geschakeld en die bestaat uit twee evenwijdige geleiders met een verschuifbare kortsluitbrug. Volgens dit principe zijn constructies gemaakt waarmee vermogens tot enkele honderden kW kunnen worden ingesteld. Zij worden o.a. gebruikt voor het lassen van de langsnaad van metalen pijpen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Microfractografie van dunne lagen

J. M. Nieuwenhuizen en H. B. Haanstra

620.187.5

De bijzondere structuur van opgedampte dunne lagen, die thans in de elektronische industrie in het centrum van de belangstelling staan, heeft aanleiding gegeven om te spreken van een vierde aggregatietoestand van de materie. Een verrassende directe kijk op deze toestand is nu verkregen door „fractogrammen" — opnamen van breukvlakken —, die met behulp van de elektronenmicroscoop zijn gemaakt van aluminiumlagen ter dikte van ca. 1 micron.

Aan dunne lagen van allerlei materialen constateert men verschijnselen en eigenschappen die de materie in „massieve" toestand niet of in mindere mate vertoont. Dunne lagen zijn daarom object van intensief onderzoek en hun eigenschappen hebben aanleiding gegeven tot belangrijke toepassingen. Sinds tientallen jaren gebruikt men ze b.v. voor getters in vacuümbuizen en voor de bedekking van glasoppervlakken die men op bepaalde wijze (of in het geheel niet) wil doen reflecteren. Recenter is de toepassing voor elektronische schakelingselementen, vooral ten behoeve van digitale technieken [1], waarbij de mogelijkheid om te komen tot geïntegreerde schakelingen van groot praktisch belang is.

De bedoelde dunne lagen worden in het algemeen verkregen door *opdampen* op een substraat of drager in vacuüm en hun dikte loopt uiteen van enkele tot vele duizenden atomen. In het laatste geval kan de laagdikte van de orde van 1 micron zijn.

Bij zulke „dikke" dunne lagen kan men soms aanzienlijke verschillen in eigenschappen krijgen door bij het opdampen de bundel atomen niet loodrecht, doch min of meer *scheef* op de drager te laten vallen. Lagen van halfgeleiders zoals silicium, galliumarsenide, tellurium die scheef zijn opgedampt, vertonen een zeer groot fotospanningseffect, dat vrijwel afwezig is bij loodrecht opgedampte lagen. Scheef opgedampte lagen van sommige stoffen zijn dichroïtisch, loodrecht opgedampte lagen van dezelfde stoffen niet. In scheef opgedampte magnetische lagen van b.v. permalloy (80Ni20Fe) kan een sterke magnetische anisotropie optreden, waarbij — althans zolang men de invalshoek niet tè groot kiest — de voorkeursas voor de magnetisatie loodrecht staat op het vlak van inval van de atoombundel. Ook de grootte van optredende mechanische spanningen kan afhangen van de hoek waaronder een laag is opgedampt [2].

Al deze verschillen kan men niet anders verklaren dan door de onderstelling dat bij variatie van de opdamphoek lagen van verschillende structuur ontstaan. Het is nu gelukt zulke verschillen in structuur rechtstreeks zichtbaar te maken met de elektronenmicroscoop. We willen de werkwijze in het kort beschrijven en enkele resultaten laten zien.

Voor „dunne" dunne lagen, waarbij het proces van kiemvorming en van het aaneengroeien van eilanden van het opgedampte materiaal tot een gesloten bedekking interessant is, heeft men reeds eerder met succes de elektronenmicroscoop als onderzoekhulpmiddel toegepast [3]. De laagjes zelf worden daarbij als preparaat in de elektronenbundel van de microscoop geplaatst. De dikke dunne lagen waarover we het hier hebben, zijn voor de elektronen niet meer voldoende transparant. Men kan, evenals bij massieve metalen, alleen hun oppervlak toegankelijk maken voor het elektronenmicroscopisch onderzoek, door een transparante *replica* hiervan te vervaardigen. Conclusies over de inwendige structuur van de laag kunnen dan echter slechts worden getrokken voor zover deze structuur zich in een reliëf aan het oppervlak kenbaar maakt. Dit is een zeer beperkte en gebrekkige informatie. We hebben derhalve gezocht naar een techniek waarbij ook een *doorsnede* van de laag in de replica wordt weergegeven.

Met het gewoon afbreken van een stukje van substraat + laag komt men er niet, want maakt men dan van zo'n stukje een replica die zich over het oppervlak en het breukvlak uitstrekt, dan is het ons interesserende gedeelte te vinden aan de randen van de re-

J. M. Nieuwenhuizen en H. B. Haanstra zijn medewerkers van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

[1] Zie b.v. W. Nijenhuis en H. van de Weg, Ontwikkelingen op het gebied van elektronische rekenmachines in het laatste decennium, Philips techn. T. **26**, 83-97, 1964/65 (no. 3).

[2] Betr. fotospanningseffect, zie: B. Goldstein en L. Pensak, J. appl. Phys. **30**, 155, 1959; E. I. Adirovich, V. M. Rubinov en Yu. M. Yuabov, Sov. Phys. Solid State **6**, 2540, 1965 (no. 10).
Betr. dichroïsme: A. Kundt, Ann. Physik u. Chemie **27**, 59, 1886.
Betr. magnetische anisotropie: D. O. Smith, M. S. Cohen en G. P. Weiss, J. appl. Phys. **31**, 1755, 1960.
Betr. mechanische spanningen: J. D. Finegan en R. W. Hoffman, J. appl. Phys. **30**, 597, 1959.

[3] G. A. Bassett, J. W. Menter en D. W. Pashley, in: Structure and properties of thin films, Proc. int. Conf. Bolton Landing, New York 1959, blz. 11; J. van de Waterbeemd, Physics Letters **16**, 97, 1965 (no. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

plica, die meestal omkrullen en minder geschikt zijn voor goede waarnemingen. Men kan dit voorkomen door het aanbrengen van een tussenlaag, die naderhand weer opgelost wordt [4], doch men moet verwachten dat dan van de fijnste details minder aan het licht zal komen, of dat eventueel valse details door de eigen structuur van de tussenlaag worden geïntroduceerd.

Ook het plaatselijk wegetsen van de laag, vóór het maken van de replica, leidde niet tot bruikbare resultaten, daar de overgang van het oorspronkelijke oppervlak naar het substraat dan te geleidelijk wordt: men krijgt geen doorsneden van de laag die duidelijke informatie geven betreffende de interne structuur.

Goed bruikbaar bleek een werkwijze waarbij met de punt van een scheermesje een kras wordt gemaakt in de dunne laag. Aan weerszijden van de kras brokkelt de laag dan hier en daar af, kleine stukjes van de laag laten los van het substraat en men krijgt aan het resterende deel een goed gedefinieerd, van laagoppervlak tot substraat reikend breukvlak. Op zulke plaatsen kan op de gebruikelijke wijze door het neerslaan van koolstof een replica worden gemaakt. Men krijgt dan een doorlopende replica van het oppervlak van de laag, het breukvlak en het blootgekomen oppervlak van het substraat; zie *fig. 1*. De moeilijkheid dat zulk een replica, die dus een soort traptrede bevat met twee scherpe knikken, op de scherpe randen gemakkelijk breekt,

Fig. 1. Maakt men in een dunne laag met de punt van een scheermesje een kras, dan krijgt men op sommige plaatsen een vrij gaaf breukvlak *b*. Men kan nu een doorlopende replica van het laagoppervlak *l*, het breukvlak en het blootgekomen oppervlak *s* van het substraat maken. Het lukt om de replica, die dus een soort traptrede bevat, onbeschadigd los te krijgen.

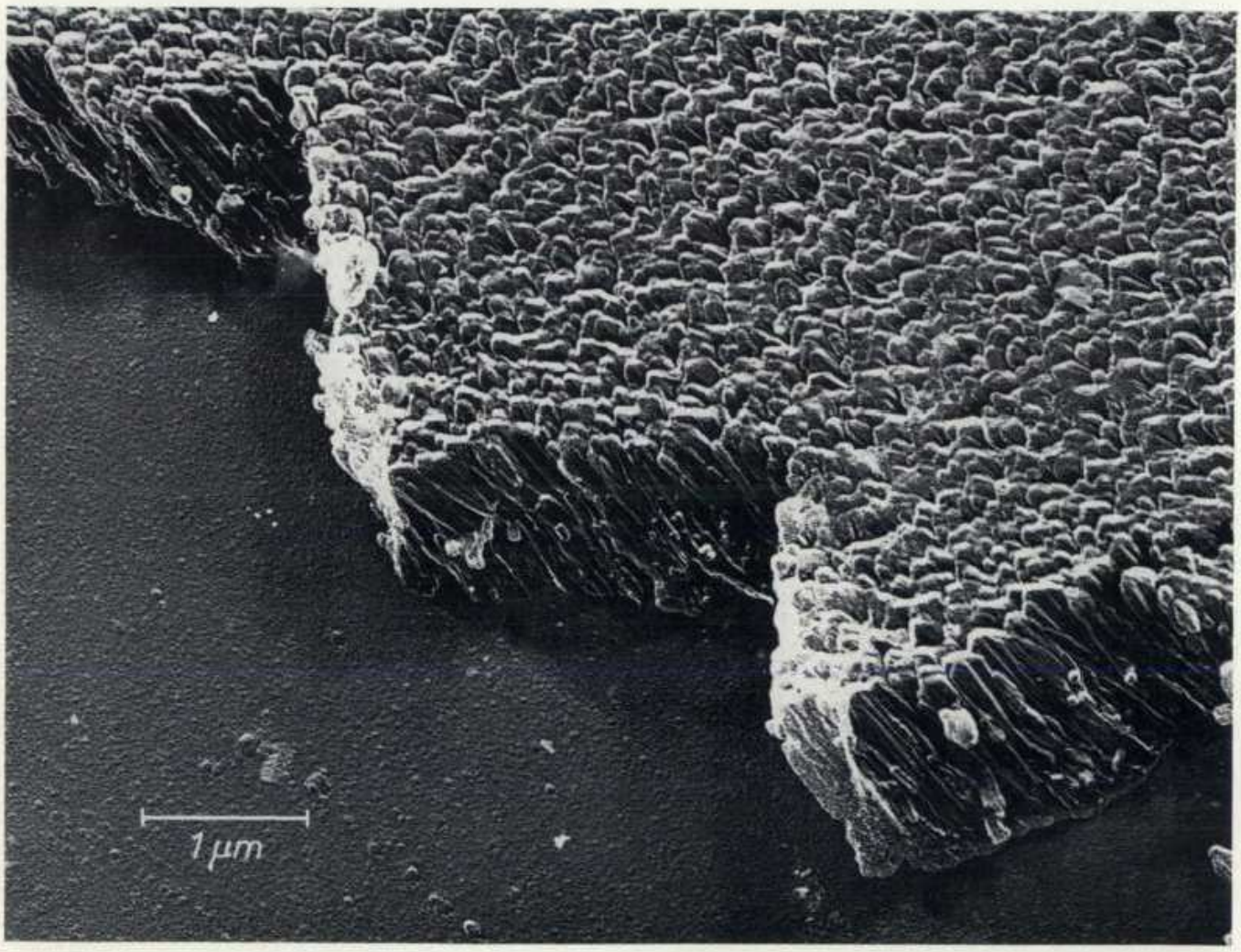


Fig. 2. Opname met de elektronenmicroscoop van een replica, volgens de beschreven methode vervaardigd van een aluminiumlaag ter dikte van ca. 1 micron. De afbeelding van het breukvlak toont dat de aluminiumlaag uit evenwijdige, onder een bepaalde hoek staande, kolomvormige kristallen is opgebouwd.

Bij alle preparaten werd door het maken van stereofoto's geverifieerd dat de replica in de microscoop de in fig. 1 geschetste vorm behouden had.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wordt ondervangen door het losmaken van de koolstoflaag uiterst langzaam te doen geschieden. Wij hebben voor dit onderzoek in hoofdzaak gewerkt met dunne lagen van aluminium, opgedampt op glas op kamertemperatuur. De aluminiumlaag kan onder de replica worden verwijderd door oplossen in zeer verdund fluorwaterstofzuur (0,5 $^0/_{00}$ HF in water), waarbij tevens de replica vrij komt van het glas. Het oplossen kan in sommige gevallen wel een week duren, maar het resultaat is dat de replica intact blijft [5].

De elektronenmicrofoto's van dergelijke replica's leveren nu duidelijke afbeeldingen van het breukvlak van een dunne laag. Een dergelijk „microfractogram" is weergegeven in *fig. 2*. De traptrede die de replica vormt, is goed te zien (de rand van de trede was hier weliswaar niet recht, zoals bij normale trappen, doch een zigzaglijn). Uit de foto blijkt dat de laag is opgebouwd uit kolomvormige kristallen, die met hun lengteassen onderling evenwijdig staan en een zekere hoek met de normaal op het substraat maken. Om over deze hoek, die we φ_k zullen noemen en die kennelijk een belangrijk gegeven voor de structuur van de laag vormt, meer te weten te komen, hebben wij de volgende werkwijze toegepast.

Het is gebruikelijk de reliëfstructuur van elektronenmicroscopische preparaten beter zichtbaar te maken door schaduwen, d.w.z. door een zwaar metaal, b.v. platina, uit schuine richting op het preparaat op te dampen: waar géén platina-atomen terechtgekomen zijn, gaan de elektronen in de microscoop met relatief geringe verstrooiing door het preparaat heen en de opname vertoont daar een sterke zwarting. Bij onze opgedampte lagen voeren wij nu dit schaduwen uit in dezelfde vacuümklok waarin de lagen zijn vervaardigd, en we dampen de Pt-atomen uit precies dezelfde richting (vanuit dezelfde bron) op de gescheurde aluminiumlaag op als de Al-atomen op het substraat, terwijl we ook zorgen dat bij het krassen van de laag de positie van het substraat in de vacuümklok niet gewijzigd wordt [6]. Door de lengte van de ontstane Pt-schaduw wordt dan als het ware de hoek φ_a gemarkeerd waaronder het aluminium op het substraat is opgedampt.

Uit het feit dat in de foto fig. 2 de Pt-schaduw niet de lengte nul heeft, volgt al dadelijk dat de kolomvormige kristallen van de laag *niet* precies in de richting van de aankomende aluminiumatomen zijn gegroeid (zie *fig. 3*): ze staan meer rechtop ($\varphi_k < \varphi_a$), maar wel blijken de kolommen altijd in het invalsvlak van de aankomende Al-atomen te staan, zoals we door experimenten met vijf verschillende invalshoeken (tot

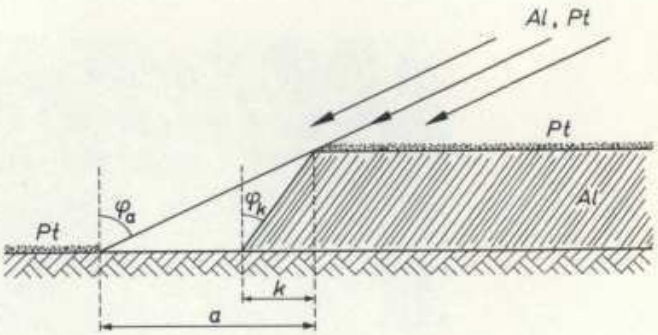


Fig. 3. De kolommen van de laag vormen een hoek φ_k met de normaal op het substraat. Deze hoek blijkt kleiner te zijn dan de hoek φ_a waaronder de bundel aluminiumatomen bij het opdampen van de laag (en de bundel platina-atomen bij het „schaduwen") is gericht. De kolommen staan wel in het invalsvlak van de atomen. De Pt-schaduw heeft de lengte $a-k$.

ca. 80°) konden vaststellen. Uit de bekende φ_a en de in fig. 3 aangegeven lengten k en a, die men op de foto kan meten, is de hoek φ_k eenvoudig te berekenen. De aldus gevonden waarden zijn in *fig. 4* uitgezet tegen φ_a. Het verband blijkt zeer goed weergegeven te worden door de betrekking [7]:

$$\operatorname{tg} \varphi_a = 2 \operatorname{tg} \varphi_k.$$

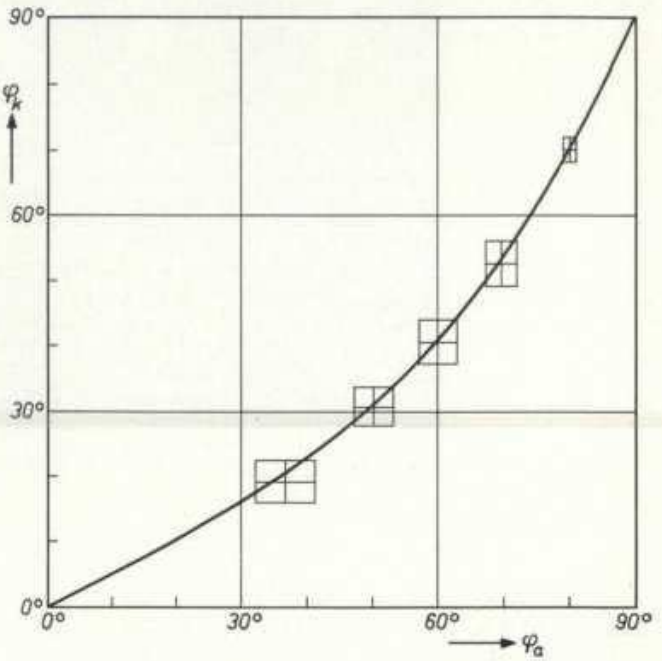


Fig. 4. Experimenteel gevonden verband tussen de hoeken φ_a en φ_k van de opdamprichting en de oriëntatie der kolommen. Het verband wordt met zeer goede benadering weergegeven door de getrokken kromme, met de vergelijking: $\operatorname{tg} \varphi_a = 2 \operatorname{tg} \varphi_k$.

[4] R. Ya. Berlaga en M. I. Rudenok, Sov. Phys. Solid State **3**, 458, 1961.

[5] Bij het uitwerken van deze techniek heeft mevr. J. Andreas-Bosdijk veel van het experimentele werk verricht.

[6] Het schaduwen gebeurt hier dus vóór het maken van de koolstofreplica. Bij het losmaken van de koolstoflaag blijven de opgedampte Pt-atomen hieraan vastzitten.

[7] Hierop zijn wij attent gemaakt door drs. G. W. van Oosterhout.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 5 is een andere duidelijke foto van een breukvlak. Deze en soortgelijke foto's tonen in de kolommen details die enige fundering leveren voor beschouwingen over het vermoedelijke mechanisme van het groeien van de kolommen; daarop zullen we hier echter niet ingaan [8]. *Fig. 6* ten slotte toont het breukvlak van een samengestelde laag, waarbij aluminium successievelijk uit *twee* richtingen werd opgedampt. In het tweede gedeelte van de laag hebben de kolommen dienovereenkomstig een nieuwe richting, zodat de doorsnede een soort visgraatstructuur vertoont. (Dit experiment bewijst overigens nog eens afdoende dat de gevonden kolommenstructuur in foto's als fig. 2 en 5 niet een gevolg kan zijn van de prepareermethode zelf — een mogelijkheid die niet a priori was uit te sluiten.) Voor het verkrijgen van een sprekende afbeelding van de visgraatstructuur moet men de tweede laag de gelegenheid geven, uit onafhankelijke kiemen te groeien, b.v. op een amorfe oxidelaag, die men laat ontstaan door tussen de twee opdampprocessen even lucht in de vacuümklok toe te laten. Doet men dit niet, dan veranderen de kolommen niet abrupt van groeirichting,

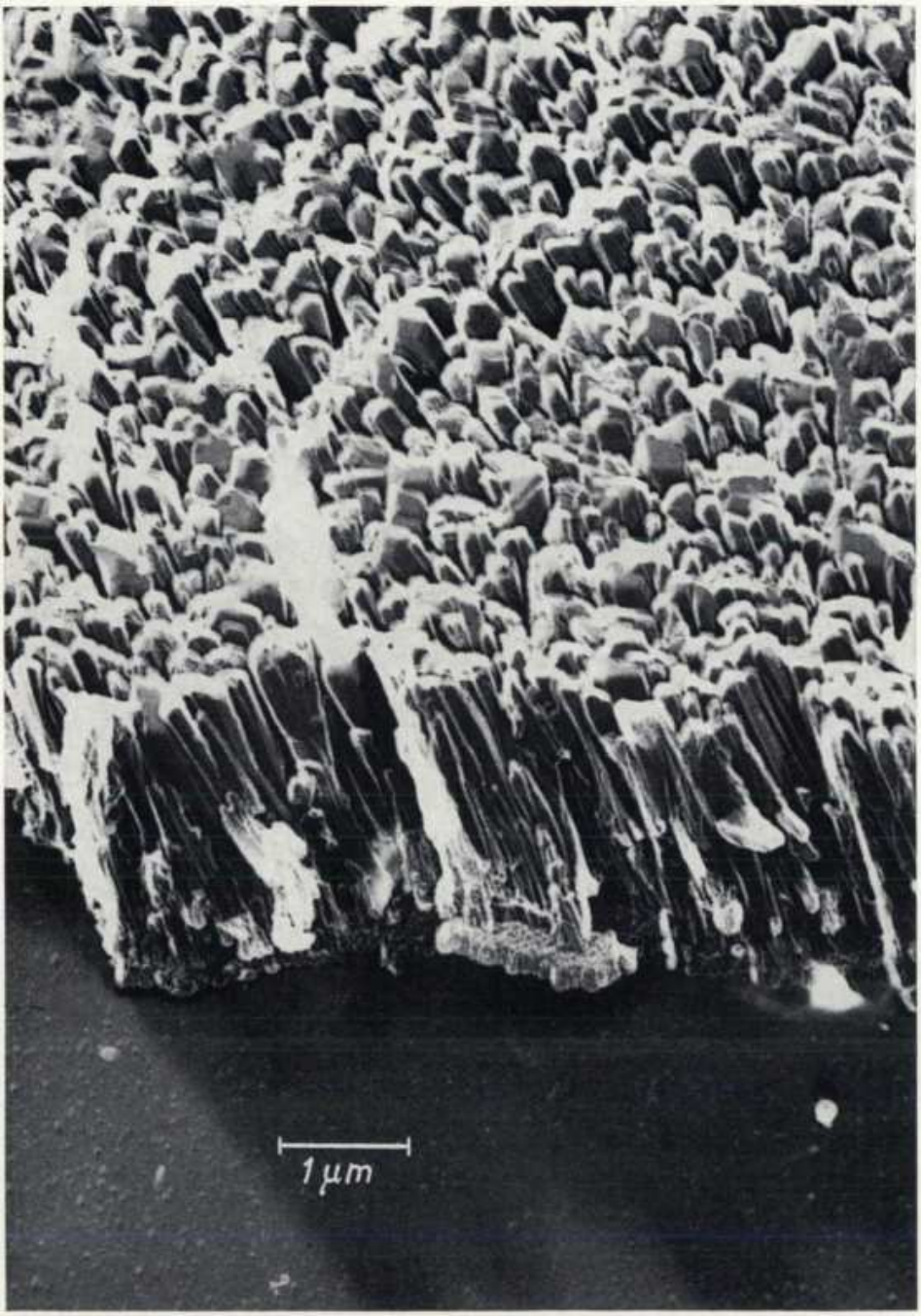


Fig. 5. Een bijzonder detailrijk fractogram, verkregen volgens de beschreven methode.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

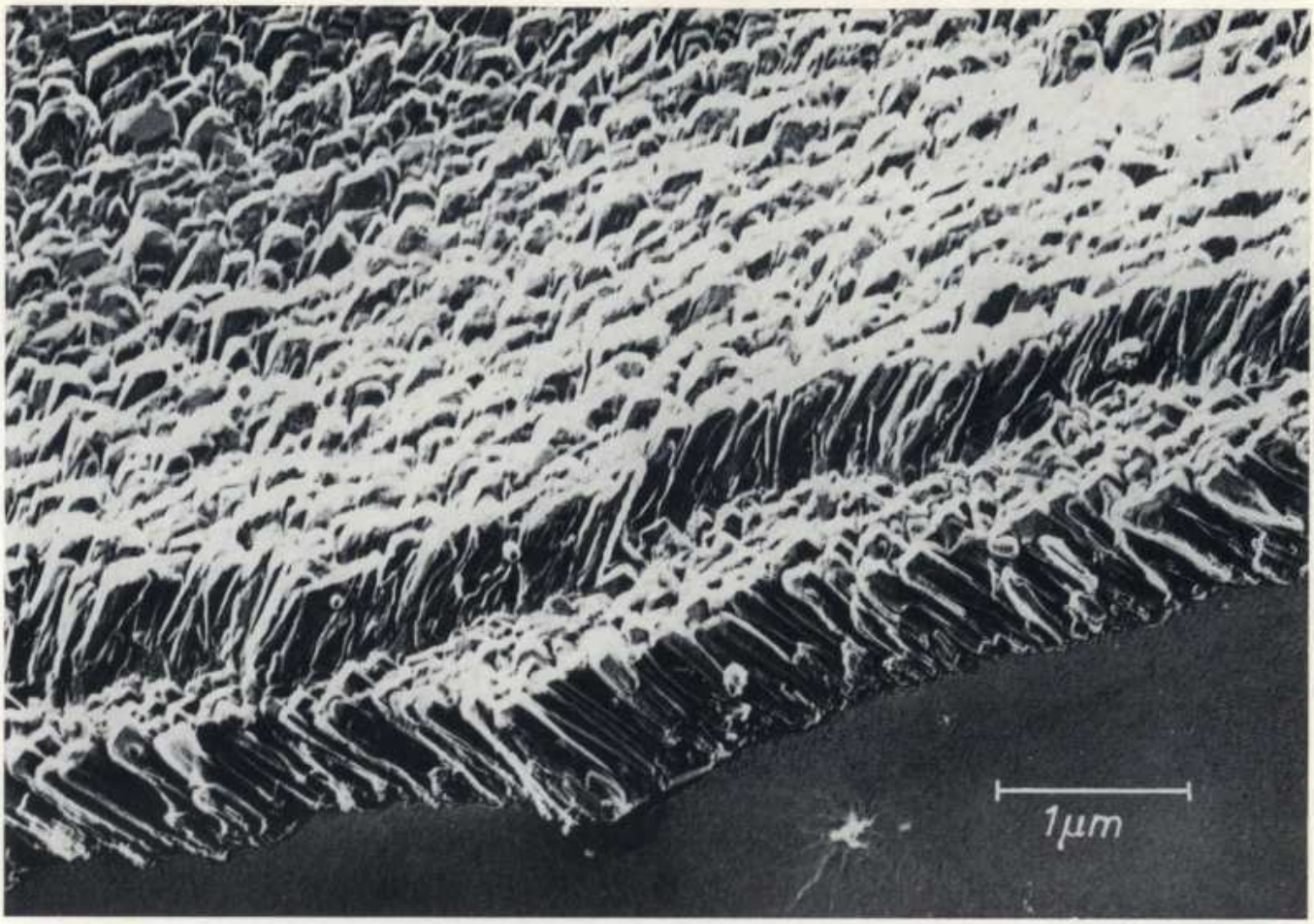


Fig. 6. Fractogram van een laag die door achtereenvolgens opdampen van aluminium vanuit *twee* richtingen is gegroeid. Tussen de twee opdampoperaties is lucht in de vacuümklok toegelaten.

en de verandering komt dan in het breukvlak veel minder duidelijk tot uiting.

Het in het begin van dit artikel genoemde verband tussen allerlei eigenschappen van dunne lagen en hun opdamprichting is met de structuurbeelden die de fractogrammen ons leveren nog lang niet opgehelderd, maar de informatie van deze beelden heeft ons een stap verder in de gewenste richting gebracht. Bovendien kan deze informatie ons te stade komen voor een betere technologische beheersing van de opgedampte lagen.

[8] Zie hierover: C. Kooy en J. M. Nieuwenhuizen, Structural effects in thin films observed by electron microscopy of the film cross section, verschijnt binnenkort in Proc. Coll. on basic problems of the physics of thin films, Clausthal 1965.

Samenvatting. De eigenschappen van sommige opgedampte dunne lagen hangen sterk af van de hoek waaronder bij het opdampen de atomen op het substraat vallen. Met een eenvoudige techniek is het nu gelukt, replica's van breukvlakken van relatief dikke dunne lagen van aluminium (dikte ca. 1 micron) te vervaardigen. Opnamen hiervan met de elektronenmicroscoop leveren duidelijke beelden van de doorsnede van zo'n laag, en uit zulke „fractogrammen" kunnen conclusies worden getrokken betreffende de structuur van de lagen en de wijze waarop de structuur wordt beïnvloed door de opdamphoek.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Recente wetenschappelijke publikaties van medewerkers van Philips' laboratoria en fabrieken

Van de meeste dezer publikaties zullen over enige tijd overdrukken kunnen worden verstrekt. Aanvragen richte men tot de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

W. Albers en **H. J. Vink:** De atomaire bouw van vrijwel stechiometrische verbindingen.
Chem. Weekblad **61**, 61-69, 1965 (no. 6).

G. Arlt: Resonance-antiresonance of conducting piezoelectric resonators.
J. Acoust. Soc. Amer. **37**, 151-157, 1965 (no. 1).

G. Blasse: A new type of superexchange in the perovskite structure.
Proc. int. Conf. on Magnetism, Nottingham 1964, blz. 350-352, uitg. Inst. Phys./Phys. Soc., Londen.

G. Bosch en **A. G. van Vijfeijken:** On the specific heat of a system of quantum oscillators.
Physica **30**, 2317-2320, 1964 (no. 12).

C. J. Bouwkamp: An infinite product.
Proc. Kon. Ned. Akad. Wet. **A 68**, 40-46, 1965 (no. 1).

H. Bremmer: Semi-geometric-optical approaches to scattering phenomena.
Proc. Symp. on Quasi-Optics, Polytech. Inst. Brooklyn 1964, blz. 415-437.

A. Bril en **W. L. Wanmaker:** Fluorescent properties of some europium-activated phosphors.
J. Electrochem. Soc. **111**, 1363-1368, 1964 (no. 12).

K. Deneke: A remark on the semiconducting compound "$AgFeTe_2$".
J. appl. Phys. **36**, 653, 1965 (no. 2).

K. Deneke en **A. Rabenau:** Über die Natur der Phase In_3SbTe_2 mit Kochsalzstruktur.
Z. anorg. allgem. Chemie **333**, 201-208, 1964 (no. 4/6).

C. J. Dippel en **H. Jonker:** Ein neues Reproduktionsverfahren mittels Metallkeim-Introduktion.
Reprographie, Ber. I. int. Kongress für Reprographie, Keulen 1963, blz. 187-190, uitg. Helwich, Darmstadt 1964.

J. A. W. van der Does de Bye: Cathodoluminescence of GaAs and GaP.
Comptes rendus 7e Congrès int. Recombinaison radiative dans les semiconducteurs, Parijs 1964, blz. 243-250.

A. van Katwijk: A grammar of Dutch number names.
Found. Language **1**, 51-58, 1965 (no. 1).

K. Klamer: Technologie van elektrokeramiek.
Klei en Keramiek **15**, 30-42, 1965 (no. 2).

E. Kooi: Formation and composition of surface layers and solubility limits of phosphorus during diffusion in silicon.
J. Electrochem. Soc. **111**, 1383-1387, 1964 (no. 12).

J. J. van Loef en **A. Broese van Groenou:** On the sublattice magnetization of $BaFe_{12}O_{19}$.
Proc. int. Conf. on Magnetism, Nottingham 1964, blz. 646-649, uitg. Inst. Phys./Phys. Soc., Londen.

F. K. Lotgering: Ferromagnetic interactions in sulphides, selenides and tellurides with spinel structure.
Proc. int. Conf. on Magnetism, Nottingham 1964, blz. 533-537, uitg. Inst. Phys./Phys. Soc., Londen.

O. W. Memelink: De werking van halfgeleiderdioden en transistoren.
Ingenieur **77**, E 15 - E 21, 1965 (no. 7).

O. W. Memelink: De werking en eigenschappen van de siliciumgestuurde gelijkrichter.
Ingenieur **77**, E 39 - E 42, 1965 (no. 11).

G. W. van Oosterhout: The structure of goethite.
Proc. int. Conf. on Magnetism, Nottingham 1964, blz. 529-532, uitg. Inst. Phys./Phys. Soc., Londen.

J. G. van Santen en **A. J. F. de Beer:** A digital voltmeter with a photoconductive potentiometer.
Solid-State Electronics **8**, 7-12, 1965 (no. 1).

P. J. W. Severin: The interaction of microwaves with the cathode fall and negative glow in a glow discharge.
Dissertatie Utrecht, okt. 1964.

M. J. Sparnaay, A. H. Boonstra en **J. van Ruler:** The influence of chemisorption upon the electrical properties of germanium surfaces.
Surface Sci. **2**, 56-63, 1964.

F. A. Staas, A. K. Niessen, W. F. Druyvesteyn en **J. van Suchtelen:** Guided motion of vortices in type II superconductors.
Physics Letters **13**, 293-295, 1964 (no. 4).

J. M. Stevels: Glass-ceramics.
Science of Ceramics **2** (Proc. Conf. Noordwijk aan Zee 1963), blz. 425-431, Academic Press, Londen 1965.

A. L. Stuijts: Low-porosity ferrites.
Proc. Brit. Ceramic Soc. **2**, 73-81, dec. 1964.

H. J. Vink: Bouw en opbouw van vaste anorganische stoffen.
Chem. Weekblad **61**, 1-11, 1965 (no. 1).

Jaargang 27, 1965/66, no. 4 blz. 93-120 Verschenen 17 januari 1966

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!